



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

## **SISTEM PENGUKURAN RESPONS KANAL MIMO 2x2 HF *SKYWAVE MULTI-MODE***

Kurniawan Dwi Arianto  
NRP 07111440000010

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**SISTEM PENGUKURAN RESPONS KANAL MIMO 2x2 HF  
*SKYWAVE MULTI-MODE***

Kurniawan Dwi Arianto  
NRP 07111440000010

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT - EE 184801**

**MULTI-MODE HF SKYWAVE MIMO 2x2 CHANNEL  
RESPONSE MEASUREMENT SYSTEM**

Kurniawan Dwi Arianto  
NRP 07111440000010

Supervisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



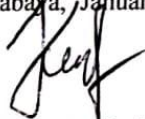
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul "**SISTEM PENGUKURAN RESPONS KANAL MIMO 2x2 HF SKYWAVE MULTI-MODE**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019



Kurniawan Dwi Arianto  
07111440000010

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



**SISTEM PENGUKURAN RESPONS KANAL MIMO 2x2 HF  
SKYWAVE MULTI-MODE**


**TUGAS AKHIR**


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Prof. Ir. Gamantyo H, M.Eng. Ph.D**  
**NIP. 19701111 199303 1002**

  
**Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**  
**NIP. 19610903 198903 1001**



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# **SISTEM PENGUKURAN RESPONS KANAL MIMO 2x2 HF SKYWAVE MULTI-MODE**

Nama : Kurniawan Dwi Arianto  
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## **ABSTRAK**

Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF) adalah sistem komunikasi jarak jauh yang bekerja pada spektrum frekuensi 3-30 MHz dan sistem komunikasi ini digunakan sebagai komunikasi radio jarak jauh karena memanfaatkan pantulan yang disebabkan oleh ionosfer. Selain itu sistem komunikasi HF ini juga tergolong murah karena tidak membutuhkan *repeater* untuk mencapai jarak tempuh lebih dari 3.000 km sehingga cocok digunakan di Indonesia yang kondisi geografisnya banyak dipisahkan oleh laut karena merupakan negara kepulauan. Lalu kelebihan lain yang dimiliki sistem komunikasi HF adalah menggunakan peralatan yang relatif mudah untuk diimplementasikan. Komunikasi HF ini bergantung pada kondisi ionosfer seperti ketinggian lapisan ionosfer, letak geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Selain itu untuk meningkatkan ketersediaan kanal yang terbatas pada sistem komunikasi HF maka diimplementasikan antenna *multi-input multi-output*(MIMO) 2x2 dengan memasang 2 buah antenna yang dipasang pada masing-masing pemancar dan penerima.

Pengukuran dilakukan dari Surabaya–Merauke, dimana pengukuran ini akan dilakukan dari Surabaya sebagai transmitter lalu Merauke sebagai receiver. Dalam pemodelan kanal MIMO HF membutuhkan parameter respons kanal. Oleh karena itu dilakukan perancangan desain sistem pengukuran untuk mendapatkan respons kanal.

**Kata kunci** : komunikasi HF, MIMO 2x2, sistem pengukuran, respons kanal

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# MULTI-MODE HF SKYWAVE MIMO 2x2 CHANNEL RESPONSE MEASUREMENT SYSTEM

Name : Kurniawan Dwi Arianto  
Supervisor I : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Supervisor II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## ABSTRACT

*High Frequency Communication System (HF) is a long-distance communication system that works in the 3-30 MHz frequency spectrum and this communication system is used as long-distance radio communication because it uses reflections caused by the ionosphere. In addition HF communication systems are also relatively cheap because it does not require repeaters to reach a distance of more than 3,000 km so that it is suitable for use in Indonesia where many geographical conditions are separated by the sea because it is an archipelagic country. Then another advantage of the HF communication system is that it uses equipment that is relatively easy to implement. This HF communication depends on ionospheric conditions such as the height of the ionosphere, geographical location, solar activity, earth's weather, and so on. In addition to increasing the availability of channels that are limited to HF communication systems, 2x2 multi-input (MIMO) antennas are implemented by installing 2 antennas installed in each transmitter and receiver.*

*Measurements were made from Surabaya-Merauke, where this measurement will be carried out from Surabaya as a transmitter and then Merauke as a receiver. In modeling the MIMO channel HF requires channel response parameters. Therefore the design of the measurement system design is done to get a channel response.*

**Keywords** : HF communications, MIMO 2x2, measurement system, channel response

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“SISTEM PENGUKURAN RESPONS KANAL MIMO 2x2 HF SKYWAVE MULTI-MODE”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, khususnya kepada:

1. Keluarga penulis yang selalu mengirimkan doa dan dukungan yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun.
2. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS terutama Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan perhatiannya kepada penulis selama kuliah dan proses penyelesaian tugas akhir ini.
3. Pak Teguh Imam Suharto dan Tony Joshua sebagai rekan seperjuangan dalam Tugas Akhir ini yang bersedia membantu penulis dalam menghadapi tugas akhir.
4. Teman-teman HF community S1,S2,S3 (Mas Agung, Mba Umai, Afrizal, Irawan, Venzon, Sarah, dan Vina) yang telah membantu dalam pelaksanaan pengukuran ini dan memberikan pengetahuan dan arahnya sehingga pengukuran ini berhasil .

Penulis telah menyadari keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Elektro khususnya bidang studi Telekomunikasi Multimedia

Surabaya, Desember 2018

Penulis

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
<i>TABLE OF CONTENTS</i> .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika .....	5
1.7 Relevansi .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Sistem Komunikasi Radio HF .....	8
2.2 Propagasi Gelombang Radio HF .....	10
2.2.1 Polarisasi .....	11

2.2.2 Maximum Usable Frequency dan Lowest Usable Frequency.....	12
2.2.3 Skip Distance dan Skip Zone.....	12
2.2.4 Link Budget.....	13
2.3 Ionosfer .....	15
2.3.1 Lapisan D.....	15
2.3.2 Lapisan E.....	16
2.3.3 Lapisan F .....	16
2.4 Faktor yang Dapat Mengganggu Komunikasi HF.....	16
2.4.1 Equatorial Spread F.....	17
2.4.2 Sporadic-E.....	17
2.4.3 Fading.....	18
2.5 Antena .....	18
2.5.1 Antena Monopole.....	19
2.5.2 Antena Dipole.....	20
2.6 Sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output) .....	21
2.7 Software Define Radio (SDR).....	22
2.8 Universal Software Radio Peripheral (USRP).....	23
2.9 Respons Impuls Kanal.....	25
2.10 Product Detector.....	26
2.11 Low Pass Filter.....	26

BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	27
3.1 Blok Diagram Perancangan Sistem.....	27
3.2 Kriteria Perancangan.....	28
3.2.1 Penentuan Frekuensi Kerja.....	29
3.2.2 Penentuan Besar Daya Pancar.....	30
3.2.3 Penentuan Waktu Pengukuran.....	30
3.2.4 Pemilihan Lokasi Pemancar dan Penerima.....	30
3.2.5 Penggunaan Antena Monopole dan Dipole.....	31
3.3 Perancangan Desain Sistem Pengukuran.....	31
3.4 Desain Sistem Keseluruhan.....	32
3.5 Proses Konektivitas Perangkat USRP .....	33
3.6 Desain Sistem Pemancar .....	34
3.7 Desain Program Penerima.....	35
3.8 Persiapan Perangkat Keras Pada Sistem Pengukuran.....	37
3.9 Spesifikasi Perangkat Sistem Komunikasi HF MIMO .....	38
3.10 Perancangan Antena Monopole dan Dipole.....	45
3.11 Perhitungan Link Budget.....	48
3.12 Skenario Pengambilan Data.....	51
3.13 Proses pengambilan Data.....	53
BAB IV PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA.....	55
4.1 Rancangan Pengukuran .....	55
4.1.1 Lokasi Pengukuran.....	55
4.1.2 Pemasangan Antena.....	56

4.1.2.1 Antena Pemancar.....	56
4.1.2.2 Antena Penerima.....	57
4.1.3 Parameter Pengukuran.....	57
4.2 Tahap Implementasi Pengukuran .....	58
4.3 Pengujian Sistem Disisi Pemancar .....	60
4.3.1 VSWR Antena Pemancar.....	60
4.3.2 Daya Output Antena Pemancar.....	61
4.4 Pengujian Sistem Disisi Penerima.....	61
4.5 Hasil Pengukuran Respon Kanal.....	63
4.6 Sintesis.....	72
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran.....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>79</b>
<b>RIWAYAT PENULIS.....</b>	<b>93</b>

## TABLE OF CONTENTS

PAGE TITLE.....	i
STATEMENT ORIGINALITY OF FINAL PROJECT .....	i
APPROVAL SHEET.....	iii
ABSTRACT .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
FOREWORD.....	ix
TABLE OF CONTENTS .....	xi
<i>TABLE OF CONTENTS</i> .....	xv
TABLE OF FIGURES.....	xix
TABLES.....	xxi
BAB I PREFACE.....	1
1.1 Background .....	1
1.2 Problem .....	2
1.3 Limitation.....	2
1.4 Purpose.....	2
1.5 Methodology .....	2
1.6 Systematic Report.....	5
1.7 Relevance.....	5
BAB II BASIC THEORY .....	7
2.1 HF Communication System .....	8
2.2 HF Radio Propagation.....	10
2.2.1 Polarization.....	11

2.2.2 Maximum Usable Frequency and Lowest Usable Frequency.....	12
2.2.3 Skip Distance and Skip Zone.....	12
2.2.4 Link Budget.....	13
2.3 Ionospher.....	15
2.3.1 D Layer.....	15
2.3.2 E Layer.....	16
2.3.3 F Layer.....	16
2.4 Problems in HF Communication.....	16
2.4.1 Equatorial Spread F.....	17
2.4.2 Sporadic-E.....	17
2.4.3 Fading.....	18
2.5 Antena .....	18
2.5.1 Antena Monopole.....	19
2.5.2 Antena Dipole.....	20
2.6 MIMO ( <i>Multiple Input Multiple Output</i> ) .....	21
2.7 <i>Software Define Radio</i> (SDR).....	22
2.8 <i>Universal Software Radio Peripheral</i> (USRP).....	23
2.9 Channel Response Impuls.....	25
2.10 <i>Product Detector</i> .....	26
2.11 <i>Low Pass Filter</i> .....	26

BAB III SYSTEM DESIGN.....	27
3.1 Blok Diagram Perancangan Sistem .....	27
3.2 Design Criteria .....	28
3.2.1 Selection of Working Frequency.....	29
3.2.2 Determination of Transmit Power.....	30
3.2.3 Selection of Measurement Time .....	30
3.2.4 Selection of Transmitter and Receiver Location.....	30
3.2.5 Use of monopole antenna and dipole.....	31
3.3 Measurement System Design .....	31
3.4 Overall System Design .....	32
3.5 USRP Device Connectivity Process .....	33
3.6 Design of Transmitter System.....	34
3.7 Design of Receiver Program .....	35
3.8 Hardware Preparation in Measurement System .....	37
3.9 Hardware Specification in Measurement System .....	38
3.10 Design of Monopole and Dipole Antennas .....	45
3.11 Link Budget Calculation.....	48
3.12 Measurement Scenario.....	51
3.13 Data Retrieval Process.....	53
BAB IV SYSTEM MEASUREMENT AND ANALYSIS.....	55
4.1 Measurement Sketch .....	55
4.1.1 Measurement Location.....	55
4.1.2 Antenna Installation.....	56

4.1.2.1 Transmitter Antenna.....	56
4.1.2.2 Receiver Antenna.....	57
4.1.3 Measurement Parameter.....	57
4.2 Step of Measurement Implementation.....	58
4.3 Transmitter System Testing.....	60
4.3.1 Transmitter Antenna VSWR.....	60
4.3.2 Amplifier Output Power.....	61
4.4 Receiver System Testing.....	61
4.5 Result of Measurement.....	63
4.6 Syntesis.....	72
BAB V CLOSING.....	75
5.1 Coclusion .....	75
5.2 Suggestion .....	75
REFERENCE .....	77
APPENDIX.....	79
BIOGRAPHY.....	93



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Metodologi Penelitian .....	4
Gambar 2.1 Macam-macam Jalur Rambat Gelombang .....	7
Gambar 2.2 Propagasi Gelombang Radio.....	8
Gambar 2.3 Lapisan Ionosfer .....	9
Gambar 2.4 Lapisan Ionosfer yang Berpengaruh Terhadap Propagasi. 10	
Gambar 2.5 Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari .....	10
Gambar 2.6 Propagasi gelombang HF .....	12
Gambar 2.7 Ilustrasi gangguan dikarenakan sporadic-E .....	16
Gambar 2.8 ketidak fokusan lintasan oleh fading.....	17
Gambar 2.9 Pola radiasi antena monopole .....	19
Gambar 2.10 Ilustrasi Antena Dipole $\lambda/2$ .....	19
Gambar 2.11 Arsitektur SDR .....	21
Gambar 2.12 USRP Tipe N210 .....	22
Gambar 2.13 <i>Daughterboard</i> (a) LFTX dan (b) LFRX.....	23
Gambar 2.14 Sinyal $x[n]$ (kiri atas) dan sinyal-sinyal penyusunnya ....	24
Gambar 3.1 Blok diagram perancangan sistem .....	27
Gambar 3.2 Desain Sistem Pemancar .....	32
Gambar 3.3 Desain Sistem Penerima .....	32
Gambar 3.4 Diagram blok pemancar .....	34
Gambar 3.5 Panel program RX secara keseluruhan .....	34
Gambar 3.6 Panel program pengaturan perangkat USRP RX .....	35
Gambar 3.7 Panel program pengaturan frekuensi carrier perangkat sinkronisasi pada USRP RX .....	35
Gambar 3.8 Panel program pengolahan sinyal terima menjadi IQ Data .....	36
Gambar 3.9 Front panel bagian RX.....	36
Gambar 3.10 Antena monopole .....	38
Gambar 3.11 Antena dipole.....	39
Gambar 3.12 USRP N210.....	40
Gambar 3.13 <i>Daughterboard</i> LFRX dan LFTX.....	40
Gambar 3.14 Tampilan Labview Communication.....	41
Gambar 3.15 Antena GPS.....	42

Gambar 3.16 Octoclock CDA 2990.....	43
Gambar 3.17 Kabel MIMO.....	43
Gambar 3.18 HF Transceiver .....	44
Gambar 3.19 Antena vertikal monopole pada sisi pemancar.....	45
Gambar 3.20 Antena vertikal monopole pada sisi penerima .....	46
Gambar 3.21 Antena horizontal dipol di sisi pemancar .....	47
Gambar 3.22 Antena horizontal dipol di sisi penerima .....	47
Gambar 3.23 Ilustrasi lintasan skywave .....	48
Gambar 4.1 Link Surabaya-Merauke.....	55
Gambar 4.2 Posisi antena pemancar.....	56
Gambar 4.3 Posisi antena penerima.....	57
Gambar 4.4 Baseband spektrum sinyal penerima.....	58
Gambar 4.5 Konfigurasi perangkat pada sisi pemancar .....	59
Gambar 4.6 Konfigurasi perangkat pada sisi penerima .....	59
Gambar 4.7 Antena pada sisi pemancar (a) monopole, (b) dipole.....	60
Gambar 4.8 Antena pada sisi penerima (a) monopole, (b) dipole .....	61
Gambar 4.9 VSWR antena pemancar (a) monopole, (b) dipole .....	63
Gambar 4.10 Daya output antena pemancar .....	64
Gambar 4.11 Hasil output sinyal .....	65
Gambar 4.12 IQ Graph .....	66
Gambar 4.13 Gambar USRP ketika sinyal diterima .....	67
Gambar 4.14 Baseband power spectrum channel 1 .....	68
Gambar 4.15 Baseband power spectrum channel 2 .....	69
Gambar 4.16 Hasil kali baseband channel 1 dengan $F_C$ 1 .....	70
Gambar 4.17 Hasil kali baseband channel 1 dengan $F_C$ 2.....	70
Gambar 4.18 Hasil kali baseband channel 2 dengan $F_C$ 1 .....	71
Gambar 4.19 Hasil kali baseband channel 2 dengan $F_C$ 2.....	72
Gambar 4.20 Respon kanal (a) h11 (b) h12 (c) h21 (d) h22 .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembagian Band Frekuensi .....	7
Tabel 2.2 Jenis Redaman .....	13
Tabel 3.1 Tabel prediksi HF .....	29
Tabel 3.2 Daya pancar maksimum setiap tingkatan .....	29
Tabel 3.3 Informasi lokasi pemancar dan penerima .....	30
Tabel 3.4 Daftar perangkat yang digunakan dalam pengukuran.....	37
Tabel 3.5 Redaman pada lintasan <i>skywave</i> .....	48
Tabel 3.6 Perhitungan Link Budget.....	50
Tabel 4.1 Hasil respon kanal pada link Surabaya-Merauke.....	73

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar yang terdiri dari sekitar 17.504 pulau , baik besar maupun kecil yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Kondisi ini menyebabkan sistem komunikasi gelombang *high frequency* (HF) sebagai salah satu teknologi alternatif yang bisa digunakan sebagai sistem komunikasi antar pulau jarak jauh. Sistem komunikasi HF adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan pita frekuensi 3 hingga 30 MHz dengan panjang gelombang 10 hingga 100 m.

Sistem komunikasi HF mempunyai kelebihan karena menggunakan peralatan yang relatif murah dan mudah untuk diimplementasikan. Cara kerja sistem komunikasi ini adalah dengan mengirimkan sinyal yang akan dipantulkan satu kali atau lebih di lapisan ionosfer, yakni 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh hingga lebih dari 3.000 km. Gelombang radio yang dikirimkan bergantung pada kondisi lapisan ionosfer sebagai media untuk mengirimkan sinyal hingga sampai di tujuan. Faktor yang mempengaruhi perubahan kondisi ionosfer adalah ketinggian lapisan ionosfer, letak geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya.

Sistem komunikasi saat ini dituntut untuk menyediakan laju data yang tinggi dan tahan terhadap gangguan serta interferensi. Pada komunikasi komersial hal itu dapat diatasi dengan memanfaatkan penggunaan antena jamak baik pada sisi pengirim maupun sisi penerima. Selain itu untuk meningkatkan ketersediaan kanal yang terbatas pada sistem komunikasi HF maka diimplementasikan antenna *multi-input multi-output*(MIMO) 2x2 dengan memasang 2 buah antena yang dipasang orthogonal pada masing-masing pemancar dan penerima. Penggunaan antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dalam komunikasi HF dapat menaikkan laju data serta meningkatkan ketersediaan kanal. Implementasi hasil rancangan dan simulasi sistem MIMO dapat digunakan *prototype Software Define Radio* (SDR). Salah satu

varian dari SDR yang dapat mendukung sistem komunikasi HF MIMO ini adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP).

Pengukuran dilakukan dari Surabaya–Merauke, dimana pengukuran ini akan dilakukan dari Surabaya sebagai transmitter lalu Merauke sebagai receiver. Dalam pemodelan kanal MIMO HF membutuhkan parameter respons kanal. Oleh karena itu dilakukan perancangan desain sistem pengukuran untuk mendapatkan respons kanal.

## **1.2 Permasalahan**

Adapun permasalahan yang akan dibahas dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara membuat sistem pengukuran kanal HF MIMO 2x2?
2. Bagaimana cara mendapatkan respons kanal dari sistem pengukuran kanal HF MIMO 2x2?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Antena yang digunakan adalah 2 buah antena pemancar (transmitter) dan 2 antena penerima (receiver) atau konfigurasi skema MIMO 2x2.
2. Pengukuran kanal HF dilakukan dengan menggunakan perangkat Universal Software Radio Peripherals(USRP) dan software LabVIEW.
3. Ujicoba dilakukan pada kanal HF antara Surabaya-Merauke

## **1.4 Tujuan**

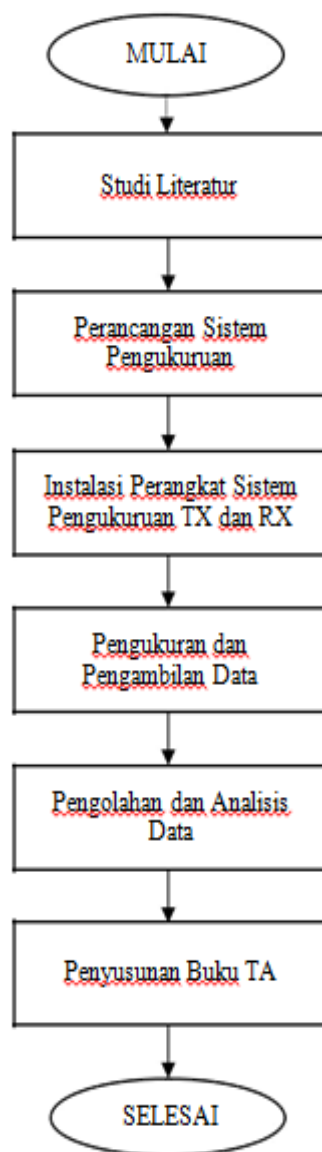
Berikut tujuan tugas akhir ini diantaranya:

1. Untuk mendapatkan data hasil pengukuran pada sistem komunikasi HF antara Surabaya-Merauke sebagai bahan untuk evaluasi propagasi kanal HF di Indonesia.
2. Untuk implementasi desain sistem komunikasi untuk HF MIMO kedepannya.

## **1.5 Metodologi Penelitian**

Penelitian tugas akhir ini melalui beberapa tahap seperti yang terdapat pada Gambar 1.1 antara lain:

- a. Studi Literatur  
Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan teori – teoridasar yang dapat menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Sumber dari studi literatur ini dapat berupa buku, jurnal, paper, majalah dan juga hasil penelitian terdahulu yang terkait.
- b. Perancangan Desain Sistem Pengukuran  
Pada tahap ini, dilakukan perancangan desain sistem pengukuran yang meliputi jenis antena yang akan digunakan, jumlah antena pengirim dan penerima, frekuensi yang akan digunakan. Setelah semua itu ditentukan maka selanjutnya akan dilakukan pembuatan blok diagram dan perancangan sistem menggunakan *software* Labview Communication 1.1. dan USRP N210. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan simulasi dari sistem pengukuran yang telah dibuat.
- c. Pengukuran Kanal HF MIMO  
Setelah berhasil merancang sistem pengukuran, maka selanjutnya adalah melakukan pengukuran pada *link* komunikasi Surabaya – Merauke. Sisi pengirim terletak di Surabaya tepatnya di gedung B Departemen Teknik Elektro ITS dan sisi penerima terletak di Universitas Musamus Merauke.
- d. Pengolahan Data Dan Analisa Hasil Pengukuran  
Setelah berhasil melakukan pengukuran maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dan analisa hasil pengukuran untuk mendapatkan nilai respons kanal HF MIMO.
- e. Penyusunan Buku Tugas Akhir  
Semua hasil analisa yang telah dilakukan kemudian akan disusun menjadi sebuah buku tugas akhir.



**Gambar 1.1** Metodologi Penelitian



## **1.6 Sistematika**

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan serta relevansi hasil penelitian.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi penjelasan tentang teori – teori yang terkait dalam penulisan tugas akhir seperti sistem komunikasi *high frequency* (HF), karakteristik lapisan ionosfer, antena dipole  $\lambda/2$ , sistem multiantena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), dan *Universal Software Radio Peripheral* (USRP).

### **BAB III Perancangan Sistem**

Bab ini membahas tentang perancangan sistem komunikasi HF MIMO. Perancangan ini meliputi perancangan desain sistem pengukuran dan skenario pengukuran.

### **BAB IV Analisis Data**

Bab ini membahas hasil pengukuran dan pengolahan data hasil pengukuran. Hasil pengukuran kemudian dianalisa sehingga akan didapatkan 4 buah bentuk respon kanal.

### **BAB V Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisa penelitian yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

### **1. Bagi Perusahaan Telekomunikasi**

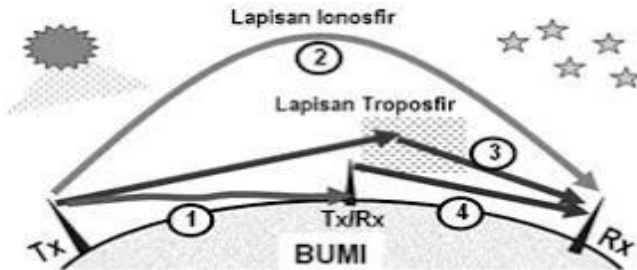
Sistem ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengimplementasian sistem komunikasi HF dengan menggunakan penerapan antena MIMO untuk meningkatkan ketersediaan dan kapasitas kanal.

### **2. Bagi masyarakat**

Sebagai komunikasi alternatif untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh alat komunikasi komersial lainnya dan sebagai komunikasi yang murah. Selain itu berguna untuk komunikasi darurat ketika terjadi bencana alam. Dimana sistem komunikasi seperti seluler, satelit, *microwave*, dan *fiber optic*, tidak mampu lagi untuk menangani komunikasi saat terjadi bencana alam.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Sinyal yang dipancarkan dari pemancar dan diterima oleh penerima merambat melalui empat macam jalur rambatan. Empat jalur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1. pada gambar tersebut nomor 1 adalah *groundwave* yaitu gelombang yang merambat melalui permukaan tanah. Nomor 2 adalah *skywave* yaitu gelombang yang merambat melalui ionosfer. Nomor 3 adalah gelombang yang merambat melalui lapisan troposfer dan nomor 4 adalah *line of sight* dimana gelombang ini akan merambat dengan lintasan langsung ke penerima. Dalam TA ini akan berfokus pada gelombang yang merambat melalui ionosfer atau *skywave*. Masing – masing gelombang tersebut dapat merambat menggunakan frekuensi yang berbeda – beda. Pembagian frekuensi itu sendiri telah ada sesuai dengan kesepakatan internasional yang bisa dilihat pada Tabel 2.1.



**Gambar 2.1** Macam-Macam Jalur Rambat Gelombang [1]

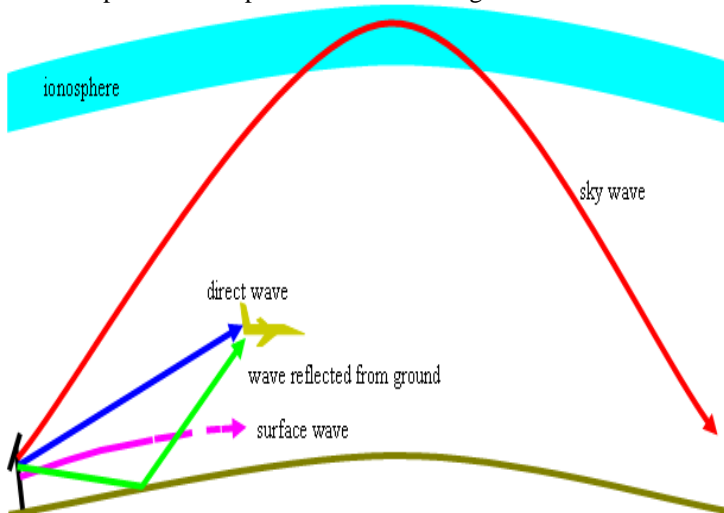
**Tabel 2.1** Pembagian Band Frekuensi [1]

Frequency Band	Frequency Range
Extremely Low Frequency (ELF)	<3 kHz
Very Low Frequency (VLF)	3 – 30 kHz
Low Frequency (LF)	30 – 300 kHz
Medium Frequency (MF)	300 kHz – 3 MHz
High Frequency (HF)	3 – 30 MHz
Very High Frequency (VHF)	30 – 300 MHz
Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz – 3 GHz
Super High Frequency (SHF)	3 – 30 GHz
Extra High Frequency (EHF)	30 – 300 GHz

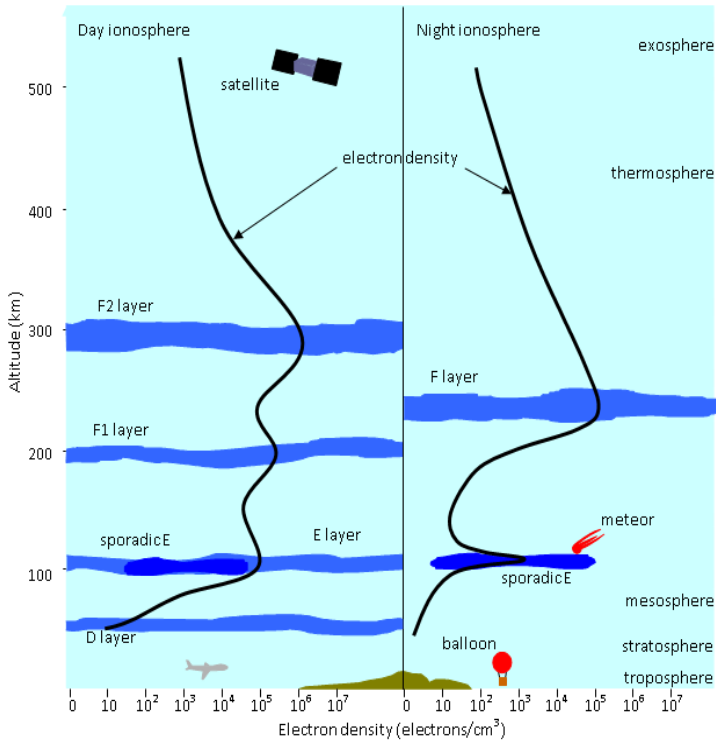
## 2.1 Sistem Komunikasi Radio HF

Sistem komunikasi HF (High Frequency) merupakan sistem komunikasi radio yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer sehingga diterima kembali ke bumi. Sistem komunikasi radio HF bekerja pada pita frekuensi 3-30 Mhz. Gelombang yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer tersebut dinamakan gelombang langit atau skywave. Gelombang dipantulkan oleh kumpulan partikel terionisasi yang ada di dalam lapisan ionosfer seperti ditunjukkan Gambar 2.2. Gelombang yang diterima berfluktuasi karena kondisi partikel yang ada didalam lapisan ionosfer berubah-ubah. Dengan kondisi yang baik gelombang yang dikirim akan dipantulkan kembali ke bumi dan tidak akan tembus ke luar angkasa. [2]

Lapisan ionosfer terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, dan F. Lapisan-lapisan ini mempunyai pengaruh terhadap gelombang HF. Gambar 2.3 Menunjukkan bahwa lapisan F terbagi menjadi dua lapisan pada siang hari yaitu F1 dan F2. Lalu pada malam hari lapisan F akan kembali menjadi satu lapisan. Gelombang radio HF diharapkan dapat dipantulkan oleh lapisan ini karena lapisan ini ada pada malam dan siang hari.



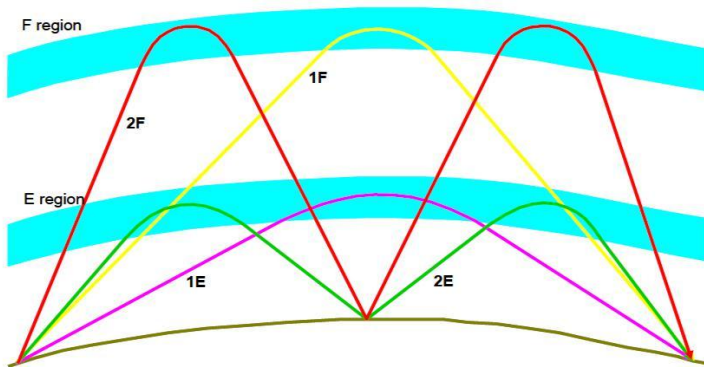
**Gambar 2.2** Propagasi Gelombang Radio [4]



**Gambar 2.3** Lapisan Ionosfer [4]

Kondisi lapisan ionosfer juga dipengaruhi oleh aktifitas matahari, dimana posisi matahari yang berubah-ubah terhadap titik-titik tertentu di bumi baik harian, bulanan, tahunan akan sulit menentukan karakteristik ionosfer.

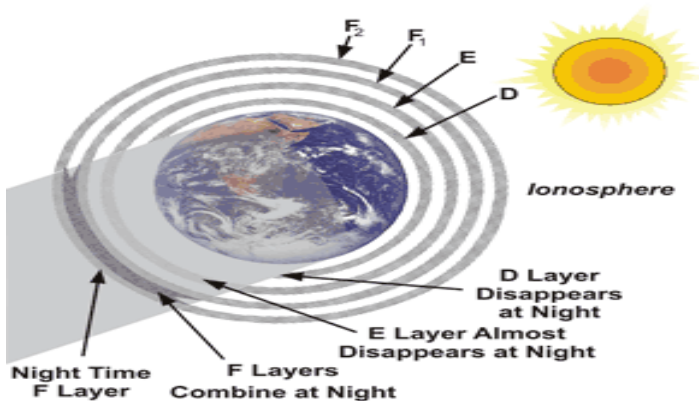
Pada tipe propagasi skywave, gelombang radio HF mengalami proses pemantulan pada lapisan ionosfer dan dapat menjangkau jarak hingga ribuan kilometer. Pada tipe propagasi ini, dapat menjelaskan mengenai berapa kali pantulan yang terjadi di ionosfer terhadap gelombang radio yang disebut dengan hop. Mode *single* hop akan terjadi pada jarak yang ditempuh gelombang antara 300-2300 Km sedangkan untuk mode *double* hop terjadi pada jarak tempuh antara 2300-4500 Km dan >4500 Km memiliki mode *multi* hop yang lebih dari *double* hop.



**Gambar 2.4** Mode propagasi gelombang *skywave* HF[4]

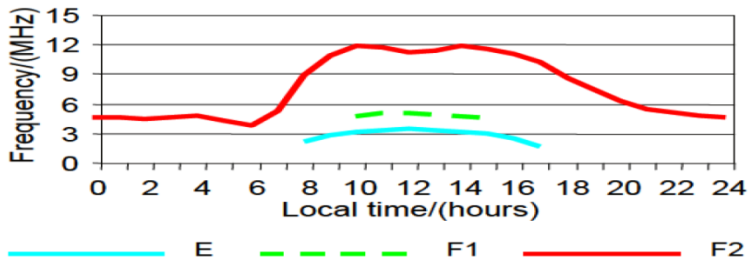
## 2.2 Propagasi Gelombang Radio HF

Mode propagasi pada radio HF merupakan jalur yang dilalui gelombang radio dalam perjalanannya dari pemancar ke penerima. Perambatan mungkin terjadi dengan 1 *hop* (satu kali pantulan dari ionosfer), 2 *hop* (dua kali pantulan dari ionosfer, dengan pantulan dari permukaan bumi di antara keduanya), dan sebagainya, dan mungkin melalui satu atau beberapa lapisan ionosfer. [1]



**Gambar 2.5** Lapisan Ionosfer Yang Berpengaruh Terhadap Propagasi [3]

Ini merupakan keunggulan dari gelombang HF yang melebihi komunikasi radio *line-of-sight* karena dalam perambatannya dapat melalui beberapa kali pantulan lapisan ionosfir sehingga dapat mencapai jarak yang sangat jauh. Pada Gambar 2.5 merupakan lapisan lapisan ionosfer yang berpengaruh terhadap Propagasi.



**Gambar 2.6** Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari [4]

Secara umum frekuensi pada gelombang radio HF akan meningkat di siang hari dan akan turun pada malam hari ditunjukkan pada Gambar 2.6. Hal ini disebabkan karena pengaruh radiasi matahari yang memproduksi elektron di lapisan ionosfer meningkat saat siang hari sehingga lapisan D, E, dan F terlihat. Pada siang hari radiasi dari matahari akan mencapai nilai maksimum sehingga lapisan F terionisasi oleh energi sinar matahari yang sangat besar dan frekuensi meningkat dengan cepat hingga mencapai maksimum sekitar tengah hari. Selama sore hari, frekuensi berangsur-angsur berkurang secara bertahap ke arah matahari terbenam karena kehilangan elektron dan pada saat gelap lapisan D, E, dan F1 menghilang. Sedangkan pada malam hari, komunikasi hanya terjadi pada lapisan F dengan frekuensi yang akan terus menurun hingga mencapai minimum sebelum fajar tiba. Pada ketinggian ini, atmosfer bumi sangat tipis sehingga ion dan elektron bergabung kembali dengan sangat lambat.

### 2.2.1 Polarisasi

Pada sistem komunikasi HF terdapat dua buah macam polarisasi antenna yaitu polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal. Polarisasi vertikal dimiliki antenna monopol, dan mempunyai medan listrik yang tegak lurus dengan bidang ekuator. Polarisasi

horizontal dimiliki antena horizontal dipol dan mempunyai medan listrik yang sejajar dengan bidang ekuator.

Pada pemantulan gelombang di lapisan ionosfer maka gelombang tersebut terbagi menjadi dua buah gelombang karakteristik yang berpropagasi masing-masing di lapisan ionosfer. Kedua gelombang tersebut yaitu ordinary wave dan extraordinary wave yang berpolarisasinya secara elips atau elliptically polarized.

### **2.2.2 Maximum Usable Frequency dan Lowest Usable Frequency**

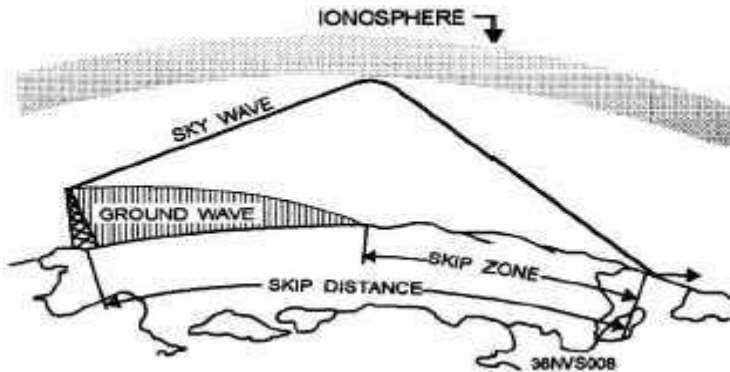
MUF(Maximum Usable Frequency) merupakan batas frekuensi tertinggi yang dapat dipakai dalam komunikasi HF. Jika frekuensi yang digunakan melebihi MUF maka sinyal tidak akan dapat dipantulkan di lapisan ionosfer melainkan diteruskan ke luar angkasa dan pada akhirnya antena penerima tidak akan menerima sinyal yang dipancarkan.

LUF (Lowest Usable Frequency) merupakan batas frekuensi terendah yang dapat dipakai dalam komunikasi HF. Jika frekuensi yang digunakan terlalu rendah atau masih dibawah nilai LUF maka sinyal tidak dapat dipantulkan dan akan diredam di lapisan ionosfer sehingga antena penerima tidak dapat menerima sinyal yang dipancarkan.

### **2.2.3 Skip distance dan skip zone**

Perambatan propagasi pada gelombang HF dapat memanfaatkan 2 buah lintasan untuk dapat berpropagasi yaitu groundwave dan skywave. Akan tetapi pancaran sinyal melalui lintasan groundwave akan terhenti seiring dengan bentuk permukaan bumi yang melengkung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. sehingga pemanfaatannya hanya dirasakan untuk gelombang yang berpropagasi pada jarak yang sangat pendek atau hanya beberapa kilometer saja. Sedangkan lintasan skywave dapat diandalkan untuk sistem komunikasi HF jarak jauh.





**Gambar 2.7** Propagasi gelombang HF [5]

Istilah skip zone sering didengar dalam sistem komunikasi HF. Skip zone merupakan wilayah yang terlewat atau daerah yang mana pancaran sinyal gelombang radio HF tidak sampai pada daerah tersebut. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh sudut pancar antenna. Skip zone berbentuk gelang mengelilingi pemancar yang memiliki diameter dalam sejauh pancaran groundwave dan diameter luar sejauh skip distance. Oleh karena jarak capai groundwave sangat kecil, maka praktis diameter dalam skip zone diabaikan hingga skip zone berbentuk lingkaran dengan diameter skip distance.

#### 2.2.4 Link Budget

Secara umum salah satu dari karakteristik propagasi gelombang radio adalah attenuation (redaman), redaman merupakan selisih dari daya pancar dengan daya terima. Hal itu disebabkan karena adanya perubahan kondisi kanal propagasi selama proses komunikasi terjadi. Jika daya minimum yang dapat diterima oleh penerima adalah (*watt*) dan (*watt*) adalah daya pancar serta  $LS$  (dB) adalah jumlah rugi sistem pada suatu link radio HF *point to point*, [6] maka redaman total (dB) dapat ditulis seperti pada persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$AT = PT - PR - LS \quad (2.1)$$

Pada link komunikasi HF terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi redaman lintasan (*pathloss*). Hal itu ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Jenis Redaman [1]

Simbol	Jenis Redaman	Nilai Tipikal Redaman (dB)	Keterangan
$L_a$	Redaman <i>absorption</i>	0-20 per hop	$L_a \propto 1/f^2$
$L_{FSL}$	Redaman <i>free space</i>	50-120	$20 \log(4\pi d/\lambda)$
$L_g$	Redaman <i>ground reflection</i>	1-3 per pantulan	Fungsi konduktivitas dan konstanta dielektrik bumi
$L_p$	Redaman polarisasi	3-6	Ionosfer membagi dua polarisasi gelombang
$L_q$	Redaman <i>sporadic E</i>	0-1	Fungsi sporadic E

Redaman *absorption* ( $L_a$ ) adalah redaman yang terjadi karena adanya penyerapan daya dilapisan E sehingga daya tidak dapat diteruskan ke lapisan F. Rugi - rugi ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$L_a = \frac{1}{f^2} \quad (2.2)$$

Dimana:

$f$  = nilai dari frekuensi kerja dalam MHz yang digunakan dalam sistem komunikasi.

Redaman *free space* atau propagasi ruang bebas adalah redaman yang terjadi ketika sinyal yang dipancarkan langsung diterima oleh antenna penerima sehingga tidak ada rugi yang disebabkan oleh *obstacle*. Perhitungan nilai redaman *free space* dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$FSL = 20 \log(4\pi d/\lambda) \quad (2.3)$$

Dimana:

$d$  = jarak antara pemancar dan penerima (km)

$\lambda$  = panjang gelombang

Redaman *ground reflection* dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dan dielektrik dari pantulan gelombang dipermukaan bumi. Biasanya untuk pantulan dipermukaan air laut, jauh lebih kecil dibanding permukaan bumi yang kering (sekitar 0 dan 3 dB).

Redaman polarisasi terjadi karena adanya perbedaan polarisasi antara gelombang yang diterima dengan antenna penerima. Sedangkan pada redaman *sporadic E* dipengaruhi oleh nilai *critical frequency* di lapisan E sporadic.

Maka terdapat total redaman pada lintasan komunikasi HF dapat dihitung dalam persamaan 2.4 berikut:

$$AT = La + LFSL + Lg + Lp + Lg \quad (2.4)$$

## 2.3 Ionosfer

Ionosfer adalah lapisan pada atmosfer yang terletak pada ketinggian 50-500 km dari permukaan bumi. Disebut lapisan ionosfer karena mengalami proses ionisasi yang disebabkan oleh radiasi matahari. Lapisan ionosfer ini memiliki peranan penting dalam sistem komunikasi HF skywave sebagai media pemantul sinyal komunikasi kembali ke bumi.

Lapisan ini bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh perubahan waktu sepanjang hari, perubahan musim selama setahun, perbedaan garis lintang, aktivitas matahari serta perbedaan ketinggian lapisan ionosfer sebagai media pemantul gelombang. Kondisi perubahan pada lapisan ionosfer terhadap perubahan waktu antara siang dan malam dapat dilihat pada Gambar 2.3. Perbedaan derajat ionisasi membagi ionosfer ini menjadi beberapa lapisan. Lapisan Ionosfer ini terdiri dari 3 lapisan yakni lapisan D, E, F.

### 2.3.1 Lapisan D

Merupakan lapisan paling bawah dalam lapisan ionosfer. Lapisan ini memiliki sifat menyerap gelombang radio pada frekuensi HF. Lapisan D hanya muncul pada siang hari dan akan menghilang pada malam hari. Tingkat ionisasinya adalah sesuai dengan kondisi radiasi matahari, yang mencapai puncaknya pada siang hari.[2] Dan itu berbanding lurus dengan tingkat penyerapannya yang juga mencapai maksimum di siang hari. Selain itu tingkat penyerapan oleh lapisan D lebih besar saat musim panas dibandingkan pada musim dingin. Serta terdapat juga

variasi terhadap derajat garis lintang bumi, dimana penyerapan akan lebih besar di daerah ekuator, dan makin mengecil mendekati daerah kutub. Frekuensi yang lebih rendah akan terserap lebih besar, sehingga sebaiknya menggunakan frekuensi terbesar yang dimungkinkan.

### **2.3.2 Lapisan E**

Lapisan ini adalah lapisan ionosfer pertama yang ditemukan, dimana “E” berarti *electric field*. Tergantung dari level daya pancar dan frekuensi yang digunakan, suatu sinyal dapat direfraksikan kembali ke bumi ataupun diteruskan ke lapisan F. Sehingga dia bukan merupakan lapisan utama yang dimanfaatkan dalam komunikasi High Frequency. Komunikasi HF yang memanfaatkan lapisan E hanya dapat digunakan pada siang hari, karena pada malam hari lapisan ini akan menghilang atau melakukan rekombinasi dengan lapisan lain.

### **2.3.3 Lapisan F**

Pada siang hari, lapisan ini terbagi menjadi 2 yakni lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian 140-210 km, sedangkan lapisan F2 berada di ketinggian lebih dari 300 km. Lapisan F2 merupakan lapisan yang paling penting dalam propagasi gelombang HF, karena dia muncul sepanjang hari selama 24 jam, ketinggian lapisan ini juga memungkinkan lajur komunikasi yang paling jauh, serta mampu memantulkan gelombang radio pada range frekuensi tertinggi HF. Sedangkan lapisan F1 tidak selalu muncul, khususnya pada malam hari dimana dia menghilang atau bergabung dengan lapisan lain. Sehingga secara umum tidak diperhitungkan dalam perkiraan mode propagasi gelombang HF. Seringkali komunikasi HF *skywave* dengan menggunakan pantulan lapisan F, adalah merujuk kepada penggunaan lapisan F2.

## **2.4 Faktor yang Dapat Mengganggu Komunikasi HF**

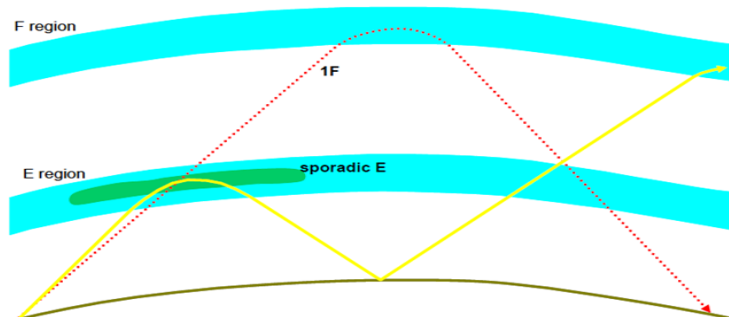
Komunikasi HF sangat bergantung pada karakteristik lapisan ionosfer. Fenomena yang terjadi di lapisan ionosfer tentunya akan mengganggu kinerja sistem komunikasi HF. Faktor-faktor yang dapat mengganggu kinerja sistem komunikasi HF diantaranya sebagai berikut :

### 2.4.1 Equatorial Spread F (ESF)

Pada saat terbenam matahari di ionosfer daerah khatulistiwa dan lintang rendah, terjadi peningkatan medan listrik dari arah timur sebelum bergerak ke barat. Peningkatan ini menyebabkan terjadinya ketidakteraturan pada plasma. Ketidakteraturan ini diamati lewat penyebaran jejak di ionogram, yang disebut *spread F*. Hal ini menyebabkan anomali ionisasi pada ekuator, atau disebut *Equatorial Spread F* (ESF). *Spread F* di ekuator yang terjadi pada malam hari menimbulkan sintilasi dan *fading* yang mengganggu komunikasi radio HF dan satelit.[7] Peningkatan aktivitas matahari meningkatkan pula kejadian ESF, dimana ESF akan terjadi maksimal pada saat *equinox*, sedangkan mencapai minimum pada saat matahari jauh dari ekuator.

### 2.4.2 Sporadic-E

Lapisan *sporadic-E* merupakan media pantul yang baik bagi sistem komunikasi HF, namun pada lapisan ini terjadi banyak ketidakteraturan sehingga belum dapat diketahui karakteristiknya. Salah satu ketidakteraturan pada lapisan *ionosfer* yang dapat mengganggu sistem komunikasi HF adalah munculnya *sporadic-E* yang disebabkan karena meningkatnya kerapatan elektron di lapisan E. Gangguan yang disebabkan karena *sporadic-E* ini menyebabkan pengiriman sinyal dari pemancar ke penerima yang seharusnya di pantulkan pada lapisan F, namun karena munculnya *sporadic-E* sangat besar maka sinyal di pantulkan oleh *sporadic-E* sehingga jarak jangkanya berubah sehingga tidak dapat sampai pada penerima. Ilustrasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.8 [8]



**Gambar 2.8** Ilustrasi gangguan dikarenakan sporadic-E [4]

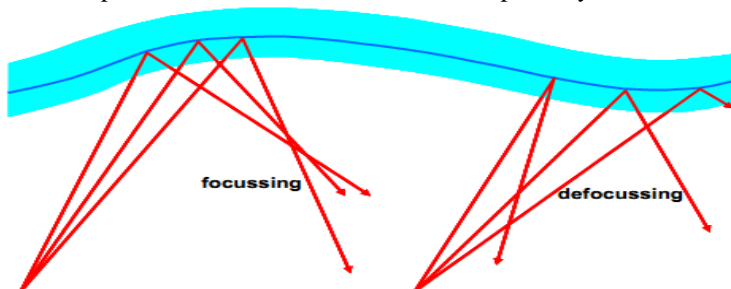
### 2.4.3 Fading

Fading disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih versi dari sinyal yang diterima pada waktu yang sedikit berbeda sehingga level sinyal yang diterima berbeda-beda. Fading pada sistem komunikasi HF dapat disebabkan oleh *multipath* dimana terjadi penggabungan pada antena penerima untuk memberikan sinyal resultan yang dapat bervariasi dalam amplitudo dan fase, tergantung pada intensitas distribusi, waktu relatif propagasi dari gelombang dan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan.

*Fading* dalam komunikasi HF dikenal dengan istilah *Travelling Ionosphere Disturbance* (TID) pada Gambar 2.9 mengakibatkan posisi menjadi bergeser sehingga sinyal yang difokuskan akan mengalami hamburan. *Travelling Ionosphere Disturbance* (TID) dapat menyebabkan variasi dalam fase, amplitudo, polarisasi dan sudut kedatangan gelombang radio . [2]

Fading mungkin bisa disebabkan oleh keempat penyebab dibawah ini, yaitu: [4]

- Pergerakan dari lapisan *ionosfer* dan perubahan dari panjang lintasan propagasi.
- Perputaran dari polarisasi gelombang.
- Variasi absorpsi dari lapisan ionosfer.
- Menghilangnya sinyal dan ketidak fokus lintasan yang sampai pada penerima disebabkan karena besarnya penurunan MUF dibawah frekuensi operasinya.



**Gambar 2.9** Ketidakfokusan lintasan disebabkan oleh fading [4]

### 2.5 Antena

Antena merupakan salah satu bagian penting dari sistem komunikasi radio. Antena menjadi sebuah perangkat yang dapat

difungsikan sebagai pemancar gelombang radio (*transmitter*) dan juga sebagai penerima gelombang (*receiver*).

### **2.5.1 Antena monopole**

Antena monopole adalah antena radio yang terdiri dari konduktor berbentuk batang lurus yang sering dipasang tegak lurus ke atas dari permukaan konduktif seperti permukaan bumi. Pada antena monopole, bagian sisi feedline antena melekat pada ujung bawah antena dan sisi lainnya melekat di permukaan tanah.[9] Hal ini berbeda dengan antena dipole yang terdiri dari dua konduktor batang yang identik dengan sinyal dari pemancar yang diaplikasikan diantara dua bagian antena.

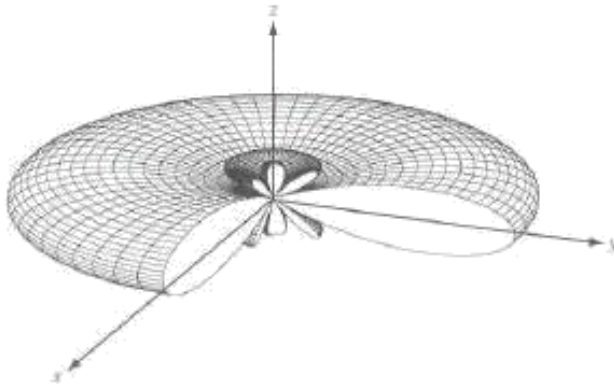
Monopole adalah antena resonan yang mana batangnya berfungsi sebagai resonator terbuka untuk gelombang radio dan beresilasi dengan gelombang arus dan tegangan yang berdiri sepanjang lintasannya. Oleh karena itu panjang antena ditentukan oleh panjang gelombang radio yang digunakan.

Monopole adalah dipole yang telah terbagi dua pada bagian pusatnya dan di bagian bidang tanahnya. Arus dan muatan pada monopole sama seperti setengah bagian atas dari dipole namun tegangan terminal hanya setengah dari dipole. Hal itu terjadi karena lebar celah terminal input setengah dari dipole dan medan listrik yang sama diatas setengah jarak memberikan setengah tegangan. Impedansi input untuk monopole adalah setengah dari pasangan dipole.

Antena monopole merupakan antena *omnidirectional* yakni antena yang memancarkan pola radiasi ke segala arah sehingga pola radiasinya berbentuk seperti *single lobe*. Pola radiasi ini cocok untuk diimplementasikan pada komunikasi HF. Akibat dari pola radiasi ini, penerima HF akan mendapat daya terima yang sama pada umumnya sesuai dengan kondisi ionosfer yang memantulkan gelombang tersebut.

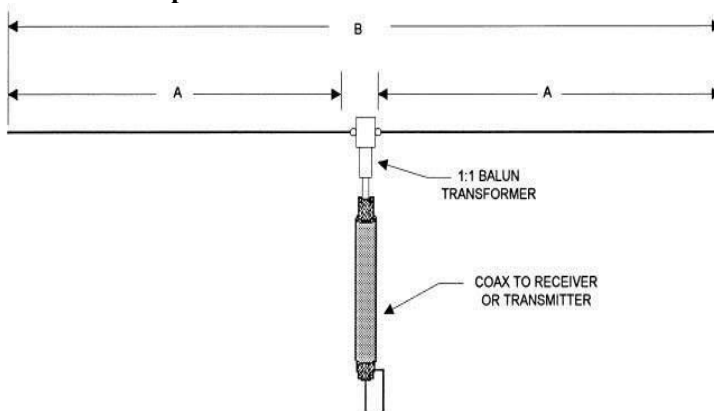
Pola radiasi antena monopole diatas permukaan tanah sama dengan dipole yang diletakkan di dalam ruang bebas. Oleh karena itu, monopole yang ditegakkan di tanah memancarkan setengah kekuatan total dari dipole yang sama dalam ruang bebas karena kekuatan didistribusikan dengan cara yang sama tetapi hanya lebih dari setengah ruang. Akibatnya, sudut solid beam dari monopole diatas bidang tanah adalah setengah dari dipol yang

sama dalam ruang bebas yang mengarah ke penggandaan *directivity*.



**Gambar 2.10** Pola radiasi antenna monopole [10]

### 2.5.2 Antena dipole



**Gambar 2.11** Ilustrasi Antena Dipole  $\lambda/2$ [11]

Antena *dipole* menjadi salah satu antenna yang biasa digunakan dalam sistem komunikasi HF. Antena dipol ini dapat dibuat dari kawat tembaga yang dipotong sesuai dengan ukuran agar beresonansi pada frekuensi kerja yang diinginkan. Ilustrasi antenna *dipole* dapat dilihat pada Gambar 2.11. Antena *dipole* yang



biasanya digunakan untuk komunikasi HF adalah antena *dipole* setengah panjang gelombang ( $\lambda/2$ ). Nilai panjang gelombang bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.5).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

Dimana :

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$f$  = frekuensi gelombang radio dalam satuan Hz

$\lambda$  = panjang gelombang dalam satuan meter

Sehingga panjang total sebuah antena *dipole* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$L = \frac{1}{2} (K \cdot \lambda) \quad (2.6)$$

Dimana  $K$  adalah *velocity factor* pada kawat tembaga yang digunakan, biasanya bernilai 0,95.

Antena *dipole* termasuk antena yang memiliki pola radiasi *omnidirectional* atau mengarah ke segala arah. Pola radiasi ini cocok untuk diimplementasikan pada sistem komunikasi HF.

## 2.6 Sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan penggunaan sistem antena dengan konfigurasi menggunakan antena jamak disisi pemancar dan juga disisi penerima [15]. Berbeda dengan sistem antena konvensional yang sangat rentan terhadap multipath, justru sistem MIMO bekerja sangat baik pada komponen multipath.

Komponen multipath dieksploitasi guna meningkatkan diversitas dan efisiensi bandwidth (bps/Hz). Semakin banyak objek pemantul/penghambur gelombang radio di lingkungan sekitar antena justru akan semakin meningkatkan akurasi penerima dengan memilah-milah sinyal informasi dengan korelasi yang rendah dari antena array di pemancar yang sudah saling tumpang tindih. Dengan demikian skema transmisi ini akan memberikan peningkatan secara linier pada efisiensi spektral.

Dengan penggunaan sistem MIMO diharapkan mampu meningkatkan ketahanan radio link dengan cara memperbesar nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) atau kapasitas jalur data transmisi. Kapasitas sistem (C) MIMO dipengaruhi oleh bandwidth (B),

jumlah antenna pengirim( $n_T$ ) dan jumlah antenna penerima( $n_R$ ), seperti yang dirumuskan dalam persamaan(2.7) berikut ini

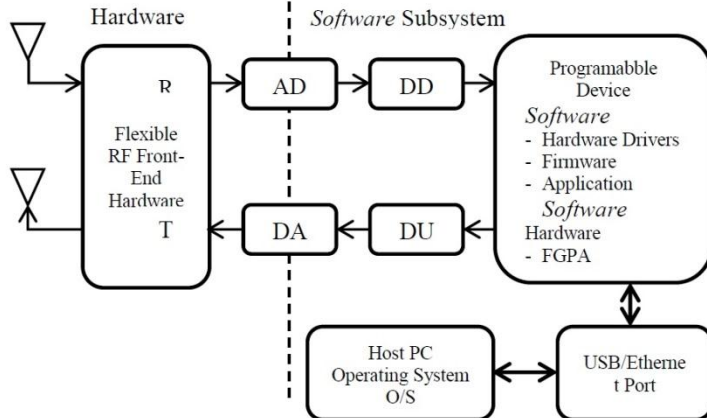
$$C = B \times \log_2 (1+n_T.n_R.S/N) \quad (2.7)$$

## 2.7 Software Defined Radio (SDR)

*Software Defined Radio* (SDR) merupakan perangkat sistem komunikasi radio yang dapat diatur secara pemrograman menggunakan *software*. Beberapa fungsi modul dalam sistem radio seperti modulasi, pembangkit sinyal, *coding* dan protokol dapat diimplementasikan menggunakan perangkat lunak yang terintegrasi dengan SDR tersebut.

Dalam sistem ini sinyal diproses melalui perangkat lunak dengan menggunakan *Field Programmable Gate Array*, *General Purpose Processor* dan lain lain. Keunggulan dari SDR antara lain adalah:

1. Memiliki sifat fleksibel (*flexibility*)
2. Dapat dikonfigurasi dengan mudah (*easy configuration*)
3. Dapat diprogram ulang (*Reprogrammability*)
4. Memiliki skala (*Scalability*)



**Gambar 2.12** Arsitektur SDR[8]

Salah satu contoh SDR yang biasa digunakan dalam bentuk penelitian adalah perangkat USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) USRP merupakan suatu prototipe perangkat radio yang diproduksi oleh NI(National Instrument) yang memiliki

beberapa jenis fungsi yang berbeda. USRP terdiri dari motherboard dan daughterboard.

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan jenis daughterboard LFTX pada sisi pemancar dan LFRX pada sisi penerima. Daughterboard ini bekerja pada frekuensi DC-30 MHz yang sesuai dengan frekuensi kerja radio HF.

## **2.8 Universal Software Radio Peripheral (USRP)**

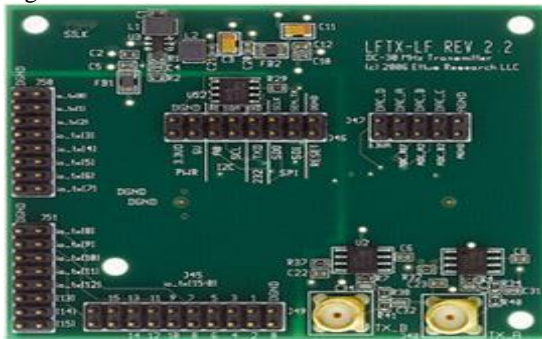
USRP merupakan perangkat front end dalam arsitektur SDR yang banyak digunakan oleh peneliti SDR dari kelompok GNU Radio. Simulasi yang merupakan produk dari Ettus Research dengan jenis USRP N210. Di dalam perangkat USRP N210 terdapat sistem ADC dan DAC, sehingga tidak diperlukan lagi hardware ADC/DAC. Selain itu, di dalam USRP N210 juga terdapat RF *Front-End* atau *daughterboard* yang berfungsi sebagai pemancar atau penerima, *chip* FPGA yang melakukan beberapa proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, serta koneksi dengan *host* PC menggunakan kabel *Gigabit Ethernet*. [1]

Gambar 2.13 merupakan USRP tipe N210 yang digunakan untuk proses pengukuran baik pada sistem *transmitter*, *receiver*, maupun akusisi data yang terdiri dari motherboard N210 dan *daughterboard*.

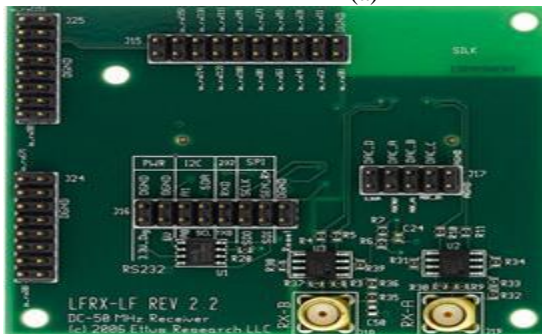


**Gambar 2.13** USRP Tipe N210

Terdapat beberapa macam *daughterboard* yang dapat digunakan pada USRP N210 yaitu *daughterboard* LFTX/RX dan SBX. Masing – masing jenis *daughterboard* ini memiliki frekuensi kerjanya masing – masing. *Daughterboard* LFTX/RX bekerja pada frekuensi 0 – 30 MHz dan SBX bekerja pada frekuensi 400 – 4400 MHz. Sistem komunikasi pada penelitian ini menggunakan frekuensi 9-11 MHz sehingga menggunakan *daughterboard* jenis LFTX/RX yang memiliki cakupan frekuensi radio sebesar 0-30 MHz. Gambar 2.14 menunjukkan penampakan masing-masing LFTX dan LFRX *daughterboard* yang akan diintegrasikan dengan USRP N210. Namun karena penelitian ini menggunakan radio HF sebagai pemancar maka USRP dengan *daughterboard* LFTX tidak digunakan.



(a)

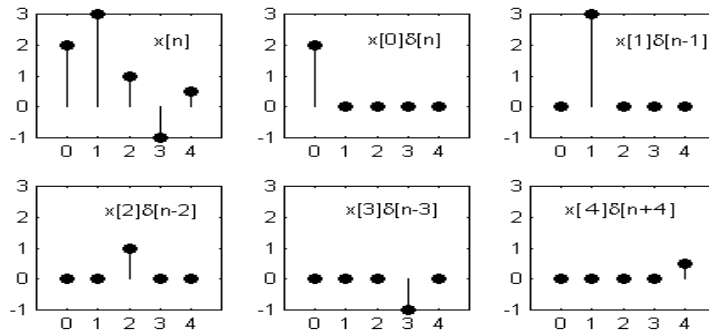


(b)

**Gambar 2.14** *Daughterboard* (a) LFTX dan (b) LFRX

## 2.9 Respon Impuls Kanal

Respon impuls adalah representasi sinyal dalam impuls yang menyatakan sinyal sebagai fungsi dari impuls atau sebagai kumpulan dari impuls-impuls. Sembarang sinyal diskret dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari impuls-impuls diskret dan sembarang sinyal kontinu dapat dinyatakan sebagai integral impuls.



**Gambar 2.15** Sinyal  $x[n]$  (kiri atas) dan sinyal-sinyal penyusunnya [12]

Seperti bisa dilihat pada Gambar 2.15 terlihat sinyal  $x[n]$  terdiri atas lima impuls. Gambar yang lain adalah impuls-impuls penyusun gambar kiri atas. Impuls-impuls penyusun dapat diperoleh dengan mengalikan sinyal  $x[n]$  dengan impuls satuan yang digeser. Sinyal impuls  $x[0]\delta[n]$  diperoleh dengan mengalikan  $x[n]$  dengan  $\delta[n]$ . Sinyal impuls  $x[1]\delta[n-1]$  diperoleh dengan mengalikan  $x[n]$  dengan  $\delta[n-1]$ . Dan akhirnya tampak jelas bahwa:

$$x[n] = x[0]\delta[n] + x[1]\delta[n-1] + x[2]\delta[n-2] + x[3]\delta[n-3] \quad (2.8)$$

Secara umum, sebuah sinyal diskrit sembarang  $x[n]$  dapat dinyatakan sebagai penjumlahan impuls-impuls:

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]\delta[n-k] \quad (2.9)$$

Seperti pada sistem diskret, sebuah sinyal kontinyu sembarang dapat dinyatakan sebagai integral dari impuls-impuls:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) d\tau \quad (2.10)$$

## 2.10 Product Detector

Product detector adalah salah satu demodulator yang sering digunakan pada sistem modulasi AM. Proses demodulator ini berfungsi sebagai *frequency mixer*. Dibawah ini merupakan penjelasan matematis sederhana dari cara kerja demodulator :

$$x(t) = (C + m(t)) \cos(\omega t) \quad (2.11)$$

$$y(t) = (C + m(t)) \cos(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.12)$$

Dimana :

- m(t) = sinyal informasi
- x(t) = sinyal AM
- y(t) = sinyal AM yang dikalikan dengan sinyal yang memiliki frekuensi dan fasa yang sama dengan sinyal AM tersebut

Dari hasil perkalian tersebut akan didapatkan komponen pada sinyal DC, sinyal informasi, maupun komponen pada frekuensi tinggi yang dapat diolah sesuai dengan yang diinginkan.

## 2.11 Low Pass Filter

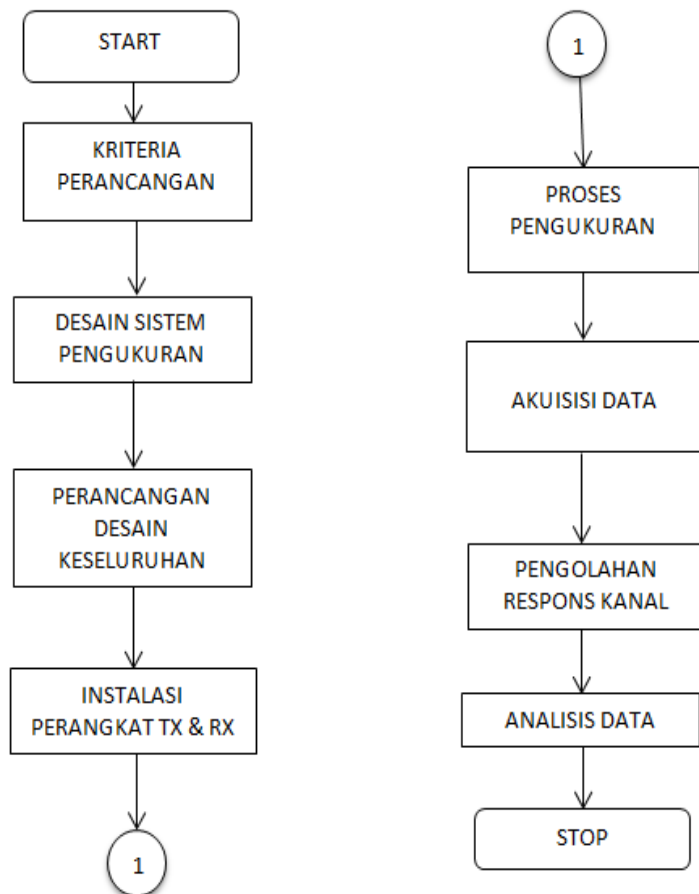
Filter dapat diklasifikasikan berdasarkan respons frekuensinya seperti filter fasa linier, filter allpass, dan filter selektif frekuensi. Pada filter selektif frekuensi dibagi lagi menjadi beberapa jenis filter diantaranya adalah LPF (Low Pass Filter), HPF (High Pass Filter), BPF (Band Pass Filter), dan BSF (Band Stop Filter). Interval frekuensi pada respons magnitude yang bernilai 1 atau konstan disebut daerah passband. Sedangkan interval frekuensi pada respons magnitude yang bernilai 0 disebut dengan daerah stopband. Frekuensi yang membatasi daerah passband dan stopband disebut frekuensi *cutoff*. [13]

## BAB 3

### PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1 Blok Diagram Perancangan Sistem

Blok diagram perancangan sistem dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1** Blok diagram perancangan sistem

### 3.2 Kriteria Perancangan

Pada desain sistem pengukuran kanal HF MIMO SKYWAVE ini memiliki kriteria yang berbeda dengan pengukuran sistem kanal HF MIMO NVIS (jarak dekat). Contohnya adalah perbedaan penggunaan frekuensi kerja.

Frekuensi kerja yang digunakan pada desain sistem perancangan ini ialah pada rentang frekuensi 9-11 MHz. Penyelenggaraan siaran radio amatir pada penelitian ini juga sudah sesuai dengan peraturan ORARI (Organisasi Amatir Radio Indonesia) pada tingkatan Siaga, dengan besar daya pancar maksimal yang diperbolehkan yaitu 100 Watt pada pita frekuensi kurang dari 30 MHz.

Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah antena horizontal dipol  $\lambda/2$  dan antena monopoli. Antena tersebut dipasang horizontal dan vertikal pada jarak pengukuran 3.049 KM (LOS) untuk link Surabaya-Merauke. Lalu dirancang pembangkitan sinyal informasi yaitu sinyal DC pada pemancar 1 dan pemancar 2 menggunakan radio yang diatur pada frekuensi 9-11 MHz. Antena pemancar 1 bekerja pada frekuensi 9,025 ; 10,025; 11,025 MHz sedangkan pemancar 2 pada frekuensi 9,075 ; 10,075; 11,075 MHz.

Sinyal pada subsistem penerima akan diterima dalam bentuk sinyal bandpass oleh antena. Kemudian sinyal tersebut akan masuk ke dalam perangkat USRP di penerima 1 maupun penerima 2. Sehingga sinyal yang diterima berupa sinyal In-phase dan Quadrature. Untuk dapat menghasilkan bentuk respons kanal perlu dilakukan proses akuisisi data. Subsistem ini sudah termasuk dalam program LabView Communications disisi penerima yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan, dan melakukan pengolahan sesuai kehendak user. Pada penelitian ini hasil data akan disimpan lalu diolah dengan software Matlab.

**Tabel 3.1** Parameter sistem pengukuran kanal HF MIMO

Parameter	Nilai
Frekuensi kerja	Tx1 = 9,025 MHz Tx2 = 9,075 MHz
Daya pancar	50 Watt
Waktu pengukuran	Tanggal 19-23 November pukul 19:00-02:00 WIT



Lokasi pengukuran	Surabaya-Merauke 3049 Km
Sinyal yang dipancarkan	Sinyal tone
Antena yang digunakan	Vertical monopole & horizontal dipole
Metode yang digunakan	MIMO 2x2

### 3.2.1 Penentuan Frekuensi Kerja

Frekuensi yang digunakan pada pemancar 1 dan pemancar 2 menggunakan radio yang diatur pada frekuensi 9-11 MHz. Antena pemancar 1 bekerja pada frekuensi 9,025 ; 10,025; 11,025 MHz sedangkan pemancar 2 pada frekuensi 9,075 ; 10,075; 11,075 MHz. Pemilihan frekuensi ini adalah karena masih berada dibawah batas frekuensi maksimum yang dapat digunakan untuk transmisi Surabaya-Merauke (MUF). Berikut ini adalah tabel prediksi HF yang diambil dari VOACAP

**Tabel 3.2** Tabel prediksi HF[16]

11/18/2018											
VOACAP Online HF Predictions											
Nov 2018 SSN = 3. Minimum Angle= 0.100 degrees OI62JR QI01EL AZIMUTHS N. MI. KM 7.28 S 112.79 E - 8.53 S 140.42 E 94.50 270.63 1644.4 3045.2											
The best operating frequencies (FREQ, FREQ2, FREQ3) by hour											
UTC	SDBW	REL	SNR	MUFday	FOT	MUF	HPF	FREQ	FREQ2	FREQ3	
01	-98 (59+)	100%	70	62%	19.9	23.2	26.2	14.1	21.1	18.1	
02	-98 (59+)	100%	80	57%	22.6	25.4	28.6	24.9	14.1	21.1	
03	-98 (59+)	100%	73	100%	25.8	29.0	32.7	18.1	28.2	14.1	
04	-95 (59+)	100%	79	100%	28.5	32.0	36.1	21.1	18.1	14.1	
05	-96 (59+)	100%	79	100%	29.7	33.4	37.7	21.1	18.1	14.1	
06	-94 (59+)	100%	80	100%	29.2	34.0	40.4	21.1	18.1	14.1	
07	-92 (59+)	100%	82	100%	29.0	33.7	40.1	21.1	18.1	14.1	
08	-91 (59+)	100%	83	100%	27.5	32.0	38.1	21.1	14.1	18.1	
09	-88 (59+)	100%	74	100%	25.9	30.1	35.8	14.1	18.1	10.1	
10	-89 (59+)	100%	73	99%	21.2	28.3	32.8	14.1	18.1	10.1	
11	-90 (59+)	100%	73	99%	19.9	26.6	30.8	14.1	10.1	7.1	
12	-90 (59+)	100%	73	99%	18.8	25.1	29.1	14.1	7.1	10.1	
13	-90 (59+)	100%	74	98%	18.0	24.0	27.9	14.1	7.1	5.4	
14	-91 (59+)	100%	74	98%	17.5	23.0	28.3	14.1	7.1	5.4	
15	-94 (59+)	100%	72	96%	15.9	21.0	25.8	14.1	7.1	5.4	
16	-93 (59+)	100%	51	100%	14.0	18.4	22.6	5.4	7.1	3.6	
17	-93 (59+)	100%	51	100%	12.5	16.5	20.3	5.4	7.1	3.6	
18	-94 (59+)	99%	52	96%	10.1	15.3	21.4	5.4	3.6	7.1	
19	-96 (59+)	99%	51	93%	9.0	13.6	19.0	5.4	3.6	7.1	
20	-98 (59+)	98%	46	98%	8.2	12.4	17.3	3.6	5.4	7.1	
21	-102 (59+)	98%	49	94%	9.4	14.2	19.9	5.4	7.1	3.6	
22	-103 (59 )	100%	54	100%	16.3	19.0	21.5	7.1	10.1	18.1	
23	-95 (59+)	100%	73	100%	19.4	22.6	25.5	14.1	10.1	21.1	
24	-98 (59+)	100%	71	100%	20.1	23.4	26.4	14.1	21.1	10.1	

[View the prediction as text.](#)

### 3.2.2 Penentuan Besar Daya Pancar

Besar daya pancar maksimum dalam siaran radio amatir pada frekuensi radio dibawah 30 MHz [14] dijelaskan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Daya pancar maksimum setiap tingkatan

<b>Tingkatan</b>	<b>Daya Pancar Maksimum (Watt)</b>
Pemula	50
Siaga	100
Penggalang	500
Penegak	1000

### 3.2.3 Penentuan Waktu Pengukuran

Pemodelan kanal HF MIMO SKYWAVE ini dipengaruhi oleh kerapatan electron pada lapisan ionosfer, sehingga perubahan waktu dari pagi hingga sore hari akan mempengaruhi hasil dari pengukuran. Pada pagi hari lapisan F terbagi menjadi 2 bagian yaitu lapisan F1 dan F2 dengan ketinggian yang berbeda. Pada pengukuran ini mengambil sampel data dari sore hari sampai malam hari. Alasan pengambilan data dilakukan sore hingga malam hari adalah karena kondisi ionosfer pada waktu tersebut sangat mendukung keberhasilan dari komunikasi HF dari Surabaya ke Merauke.

Pada penelitian ini perencanaan waktu pengukurannya adalah sebagai berikut:

- Pengambilan data pengukuran sebanyak 16000 sampel.
- Waktu pengukuran dilakukan dari sore hari pukul 19:00 WIT hingga malam hari pukul 02:00 WIT tanggal 19-23 November 2018.

### 3.2.4 Pemilihan Lokasi Pemancar dan Penerima

Sistem pengukuran HF MIMO ini dilakukan pada link Surabaya-Merauke. Dimana lokasi pemancar berada di kota Surabaya yang lebih tepatnya di Gedung Departemen Teknik Elektro ITS. Sedangkan lokasi penerima berada di kota Merauke atau lebih tepatnya berada di atas gedung Teknik

ElektroUniversitas Musamus Merauke. Lokasi yang lebih spesifik dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Informasi lokasi pemancar dan penerima

<b>Kota</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Surabaya (TX)	7°17'7.12"LS	112°47'47.78"BT
Merauke (RX)	8°31'55.21"LS	140°25'1.58"BT

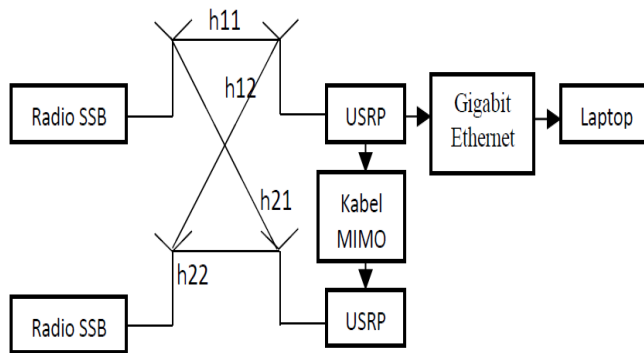
### 3.2.5 Penggunaan Antena Monopole dan Dipole

Sistem pengukuran HF MIMO ini menggunakan antena monopole dan antena dipole disisi pemancar dan penerima. Antena monopole memiliki pola radiasi *omnidirectional* sehingga penggunaan antena ini dapat menjangkau ke segala arah. Sedangkan antena dipole memiliki pola radiasi horizontal yang mengharuskan untuk diarahkan saling berhadapan antara antena pemancar dan penerima agar penerimaan sinyal bagus. Maka dari itu antena dipole di pemancar dan penerima diarahkan melintang ke arah utara-selatan agar pola radiasi nya menghadap ke barat-timur. Hal ini dilakukan karena kota Merauke sebagai lokasi antena penerima berada di sebelah timur kota Surabaya sebagai lokasi antena pemancar.

### 3.3 Perancangan Desain Sistem Pengukuran

Pada sistem pengukuran ini menggunakan antena monopole vertikal dan antena dipole horizontal dengan skema MIMO 2x2 dimana pada sisi pemancar terdapat 2 buah antena dan pada sisi penerima juga terdapat 2 buah antena. Dua buah antena pada sisi pemancar menggunakan frekuensi 9,025 MHz dan 9,075 MHz. dengan menggunakan 2 buah frekuensi yang berbeda akan memudahkan penerima untuk mengetahui sinyal informasi yang berada pada frekuensi tersebut.

Proses pengukuran pada penelitian ini menggunakan perangkat SDR (Software Define Radio) yaitu USRP tipe N210. Dimana sinkronisasi perangkat pada sistem pengukuran ini menggunakan perangkat octoclock yang dipasang pada sisi penerima.

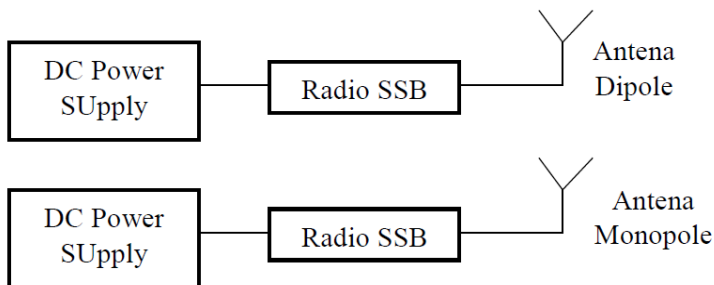


**Gambar 3.2** Perancangan sistem pengukuran kanal HF MIMO

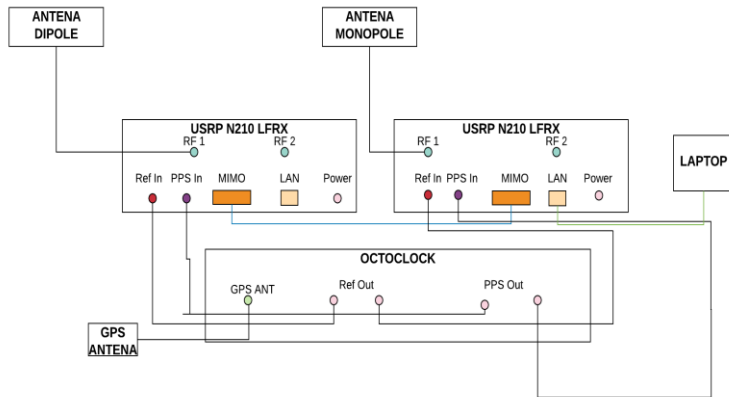
### 3.4 Desain Sistem Keseluruhan

Penelitian ini menggunakan desain sistem pengukuran berbasis perangkat radio HF dan SDR (Software Define Radio) berupa perangkat USRP (Universal Software Radio Peripheral) tipe N210. Pengukuran ini berguna untuk mengukur kanal HF MIMO dengan skema 2x2 pada link Surabaya-Merauke dengan jarak LOS (Line of Sight) sebesar 3.049 km.

Seluruh desain sistem terkait proses pengukuran ini ditunjukkan pada gambar 3.3 untuk sisi pemancar dan gambar 3.4 pada sisi penerima.



**Gambar 3.3** Desain Sistem Keseluruhan pada Pemancar



**Gambar 3.4** Desain Sistem Keseluruhan pada Penerima

Pada sisi pemancar akan dibangkitkan sinyal DC yang terdiri dari sinyal in-phase dan quadrature pada pemancar 1 dan pemancar 2.

Desain sistem pengukuran ini menggunakan antenna jamak pada pemancar dan penerima dengan skema MIMO 2x2 yaitu terdapat 2 buah antenna pada sisi pemancar dan 2 buah antenna pada sisi penerima. Proses sinkronisasi perangkat pada pengukuran ini menggunakan perangkat octoclock baik pada sisi pemancar dan sisi penerima.

Sinyal terima pada antenna penerima 1 dan penerima 2 akan diteruskan ke perangkat USRP. Perangkat USRP pada penerima akan mengolah sinyal tersebut ke dalam bentuk IQ Data pada penerima 1 dan penerima 2. IQ Data inilah yang akan diolah untuk mendapatkan 4 buah bentuk respons kanal yaitu  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  dan  $h_{22}$ .

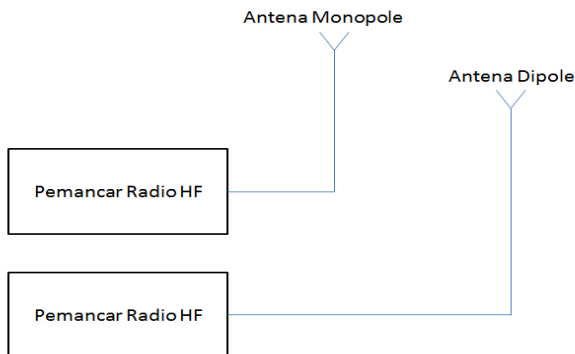
### 3.5 Proses Konektivitas Perangkat USRP

Proses konektivitas pada USRP dengan PC user menggunakan port LAN yang dihubungkan dengan Gigabit Ethernet cable. Perangkat USRP dan PC user harus menggunakan IP Address dengan subnet sama, baru kemudian perangkat USRP dapat dideteksi menggunakan software NI-USRP Configuration Utility yang diinstal pada PC user.

### 3.6 Desain Sistem Pemancar

Sistem pemancar dirancang agar dapat mengirimkan sinyal carrier radio HF dengan rentang frekuensi sebesar 9-11 MHz. Dalam membangun sistem pemancar ini dibutuhkan perangkat berupa antenna monopole, antenna dipole, kabel coaxial, dan radio HF.

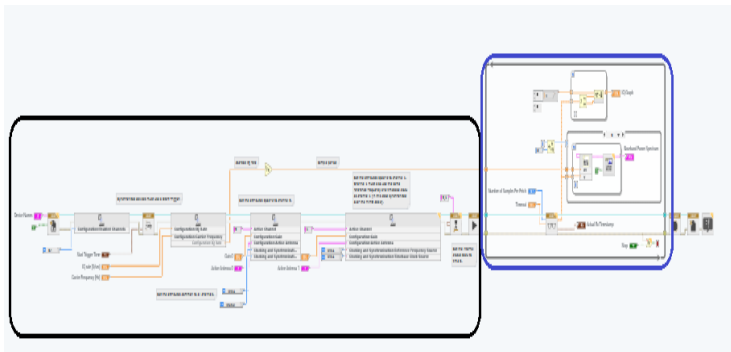
Pembuatan sistem ini diawali dengan pengecekan daya dan vswr antenna monopole dan dipole yang masing-masing antenna berada di atas gedung B dan jembatan AJ Teknik Elektro ITS. Pengecekan ini agar memastikan VSWR dari antenna pemancar bernilai kurang dari 2 dan daya pancarnya cukup untuk diterima di Merauke. Sebelumnya antenna monopole dan dipole tersebut telah terpasang hingga kabel coaxialnya sudah bisa dipasangkan ke perangkat radio HF di lab B306. Kabel coaxial tersebut dipasangkan ke *power meter* lalu dihubungkan dengan radio untuk pengecekan daya dan vswr antenna. Setelah daya pancar sesuai dengan perhitungan link budget maka kita mencoba memancarkan dan menerima sinyal dengan kanal frekuensi radio amatir melalui radio dan mencoba untuk melakukan komunikasi suara agar mengetahui apakah direntang frekuensi 9-11 MHz tersebut dapat diterima dengan baik atau tidak. Blok diagram pemancar dapat diilustrasikan sebagai berikut.



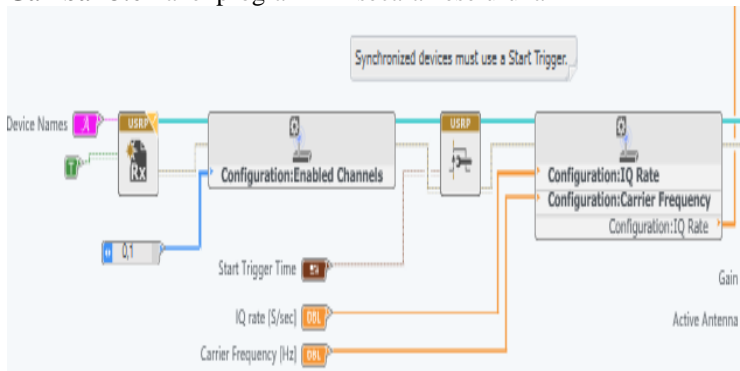
**Gambar 3.5** Diagram blok pemancar

### 3.7 Desain Program Penerima

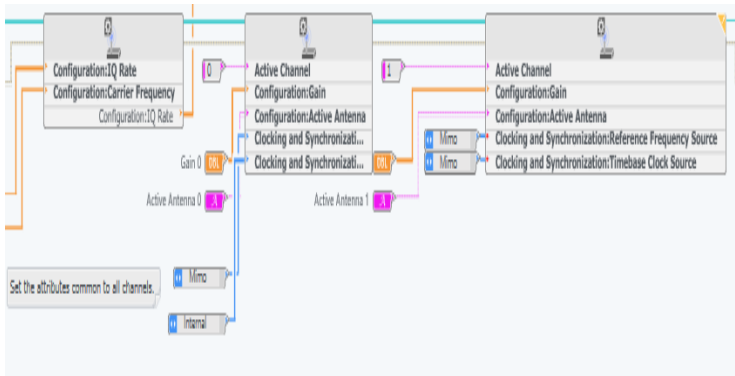
Sisi penerima akan berfungsi sebagai penangkap sinyal pada pita frekuensi tertentu. Gambar 3.6 pada lingkaran hitam berfungsi sebagai pengatur penggunaan frekuensi penerima 1 maupun penerima 2. Kemudian juga berfungsi untuk mengatur penggunaan sinkronisasi baik itu penggunaan perangkat octoclock maupun konfigurasi MIMO kabel yaitu port PPSIn dan RefIn. Lingkaran biru berguna untuk mengolah sinyal terima kedalam bentuk IQ Data dan menampilkannya dalam bentuk grafik.



**Gambar 3.6** Panel program RX secara keseluruhan

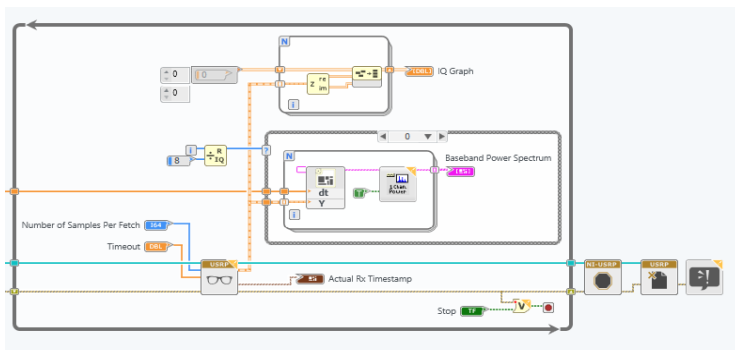


**Gambar 3.7** Panel program pengaturan perangkat USRP RX



**Gambar 3.8** Panel program pengaturan frekuensi carrier perangkat sinkronisasi pada USRP RX

Pada desain program penerima perlu juga mengatur besar IQ Rate yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Begitu pula untuk pengatur frekuensi kerja yang digunakan serta perangkat sinkronisasi yang digunakan pada konfigurasi USRP pada sisi penerima diatur sesuai Gambar 3.8.

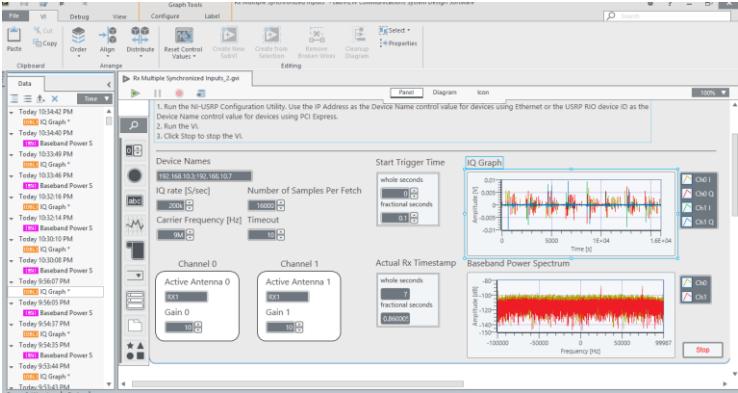


**Gambar 3.9** Panel program pengolahan sinyal terima menjadi IQ Data

Kemudian pengolahan sinyal terima pada penerima 1 (channel 1) maupun penerima 2 (channel 2) akan diolah kedalam bentuk IQ Data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Pengaturan pada blok diagram tersebut mempermudah user dalam melihat visualisasi sinyal terima dan proses akuisisi data.



**Gambar 3.10** Front panel bagian RX

Tampilan GUI (Graphical Unit Interface) pada software LabView Communications sangat memudahkan pengguna dalam proses pengambilan data maupun penyimpanan data. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 pengguna dapat mengubah tampilan grafis berupa warna pada setiap channel juga untuk proses pengambilan data IQ user hanya tinggal klik kanan pada IQ Graph lalu capture data, setelah itu akan muncul data IQ Graph di panel sebelah kiri dan untuk disimpan ke format excel di klik kanan lalu pilih export. Data IQ dalam format .csv akan langsung tersimpan di folder yang sudah kita pilih.

### 3.8 Persiapan Perangkat Keras Pada Sistem Pengukuran

Sebelum pengukuran dilaksanakan, perlu dilakukan persiapan ketersediaan perangkat keras yang akan digunakan. Beberapa perangkat tersebut bisa dilihat pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5** Daftar perangkat yang digunakan dalam pengukuran

Nama Perangkat	Pemancar	Penerima
USRP	-	2 buah
Daughterboard LFTX	-	-
Daughterboard LFRX	-	2 buah
Antena	2 buah	2 buah
Octoclock	-	1 buah

Kabel MIMO	-	1 buah
Kabel SMA	-	4 buah
Antena GPS	-	1 buah
Radio HF	2 buah	1 buah
VSWR&Power Meter	1 buah	1 buah
PC	-	1 buah
Gigabit Ethernet	-	1 buah

### 3.9 Spesifikasi Perangkat Sistem Komunikasi HF MIMO

Sebelum menjalankan simulasi dan implementasi sistem komunikasi HF MIMO maka sebaiknya mengetahui spesifikasi semua perangkat yang akan digunakan baik berupa perangkat keras maupun perangkat lunak. Perangkat yang akan digunakan dalam sistem komunikasi HF MIMO ini adalah:

#### 1. Antena

Antena berfungsi untuk mengubah arus listrik frekuensi radio menjadi gelombang elektromagnetik. Antena yang digunakan untuk sistem komunikasi HF MIMO ini adalah antena *monopole* dan juga antena *dipole* setengah panjang gelombang ( $\lambda/2$ ). Antena yang digunakan dalam penelitian sistem komunikasi HF ini adalah antena monopole shakespeare 393 ssb dengan panjang antena adalah 7m. Antena monopole terbuat dari ferr kuningan berlapis krom yang berbentuk batang lurus yang sering dipasang tegak lurus ke atas dari permukaan konduktif seperti permukaan bumi yang terdiri dari tiga bagian yaitu basis 92 inchi, pusat 92 inchi, dan tip 92 inchi. Pola radiasi antena ini bersifat omnidirectional yakni ke segala arah. Daya input maksimal pada antena ini adalah 1000 Watt. Antena ini dapat dilihat pada Gambar 3.11. Lalu antena yang selanjutnya digunakan adalah antena dipole. Antena *dipole*  $\lambda/2$  ini dibuat dengan menggunakan kabel monster dengan total panjang  $\pm 20$  meter. Antena ini menggunakan balun Diamond BU-50 dengan impedansi sebesar  $50 \Omega$  dan perbandingan transfer daya 1:1 yang artinya daya input balun sama dengan daya

output balun. Antena ini memiliki  $VSWR < 2$  pada frekuensi 9-11 MHz dan *bandwidth* antena sebesar  $\pm 200\text{kHz}$ . Antena ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.11** Antena monopole



**Gambar 3.12** Antena dipole

## 2. *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*

USRP adalah salah satu perangkat keras SDR yang akan digunakan dalam sistem komunikasi HF MIMO ini. Simulasi dan implementasi sistem komunikasi ini menggunakan SDR produk dari Ettus Research dengan jenis USRP N210. Dalam USRP N210 terdapat ADC/DAC, RF Front-End atau *daughterboard* yang berfungsi sebagai pemancar atau penerima, *chip* FPGA yang melakukan beberapa proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, serta koneksi dengan *host* laptop menggunakan kabel *Gigabit Ethernet*. USRP N210 dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** USRP N210

Dalam menjalankan fungsinya USRP N210 membutuhkan sebuah *embedded system* yang dikenal dengan istilah *daughterboard*. *Daughterboard* ini memiliki fungsi agar USRP yang akan digunakan dapat berjalan pada frekuensi yang diinginkan. Sistem komunikasi HF bekerja pada frekuensi 3-30 MHz sehingga *daughterboard* yang cocok adalah LFRX untuk

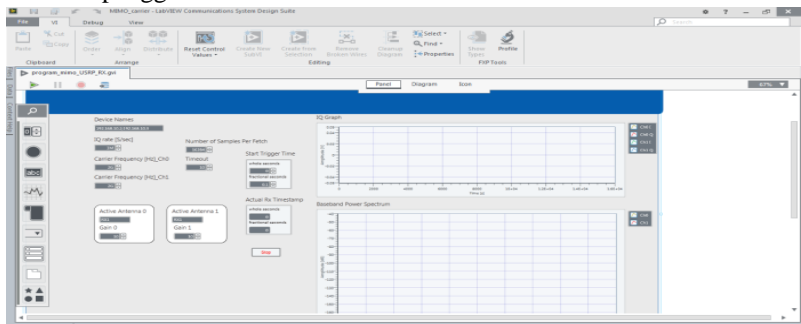
receiver. Gambar 3.14 menunjukkan *daughterboard* yang akan diintegrasikan dengan USRP N210.



**Gambar 3.14** Daughterboard LFRX dan LFTX

### 3. Labview Communication

Labview Communication 1.1 atau Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench adalah perangkat lunak dengan bahasa pemrograman berbasis grafis dan blok diagram yang digunakan untuk menjalankan USRP. Di dalam Labview terdapat program yang tersusun dari blok diagram suatu sistem komunikasi agar dapat terhubung ke perangkat USRP. Gambar 3.15 menunjukkan tampilan pengaturan parameter pada penggunaan Labview Communication 1.1.



**Gambar 3.15** Tampilan Labview Communication

#### 4. Personal Computer

Personal Computer (PC) atau dapat berupa laptop yang digunakan pada sistem komunikasi HF MIMO ini harus memiliki port *gigabit ethernet*. Hal ini dikarenakan USRP hanya dapat terhubung ke PC/laptop menggunakan *gigabit ethernet*.

#### 5. Gigabit Ethernet

Gigabit ethernet memiliki fungsi sebagai penghubung antara PC/Laptop dengan USRP. Proses integrasi antara PC/laptop dengan USRP menggunakan *default IPaddress* pada USRP. Sedangkan *IP address* untuk PC harus di set dengan subnet mask yang sama atau dalam satu jaringan agar kedua perangkat dapat saling terhubung.

#### 6. Kabel Koaksial

Kabel koaksial adalah kabel yang digunakan sebagai media transmisi yang menghubungkan antena pemancar dengan sistem pemancar dan antena penerima dengan sistem penerima. Pada sistem komunikasi HF MIMO ini digunakan kabel koaksial RG8 produksi BELDEN pada sisi pemancar dan kabel koaksial RG58 produksi BELDEN pada sisi penerima.

#### 8. Antena GPS

Antena GPS (Global Positioning System) merupakan sistem navigasi berbasis satelit. Antena GPS dipasangkan pada port GPS Ant pada perangkat octoclock disisi penerima. Perangkat ini berfungsi untuk mendapatkan sinkronisasi berupa waktu yang sama untuk proses pengukuran.



**Gambar 3.16** Antena GPS

#### 9. Octoclock

Octoclock adalah perangkat yang digunakan sebagai sinkronisasi USRP. Octoclock menyediakan input 10 MHz dan PPS pada panel depan perangkat yang didistribusikan ke masing-masing 8 buah port keluaran 10 MHz dan keluaran SMA PPS.



**Gambar 3.17** Octoclock CDA 2990

#### 10. Kabel MIMO

Pada peneiltian ini konfigurasi MIMO 2x2 dapat di lakukan dengan menyusun antena jamak pada sisi pemancar maupun sisi penerima. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan kabel MIMO untuk menghubungkan USRP penerima 1 dengan USRP penerima 2. Kabel ini memiliki panjang sebesar 0,5 meter.



**Gambar 3.18** Kabel MIMO

#### 11. HF Transceiver

Perangkat radio HF transceiver mempunyai peran yang sangat penting dalam komunikasi HF karena melalui perangkat ini sinyal HF dapat dipancarkan. Radio HF memiliki rentang frekuensi 3-30 MHz. Perangkat radio HF ini dapat mentransmisikan suara maupun tone pada rentang frekuensi HF. Dalam pengukuran ini ditransmisikan suara maupun tone. Transmisi suara bertujuan untuk mengecek apakah sinyal dapat diterima di Merauke. Transmisi tone untuk pengambilan data. Pada pengukuran ini digunakan 3 buah perangkat radio HF. 2 buah pada sisi pemancar dan 1 buah pada sisi penerima. Radio HF yang digunakan pada pengukuran ini adalah produksi icom.



**Gambar 3.19** HF Transceiver



### **3.10 Pemilihan Antena Monopol dan Antena Dipol**

Pada penelitian HF MIMO ini menggunakan dua jenis antena yaitu antena monopol dan juga antena dipol. Antena tersebut dipasang sesuai konfigurasi MIMO 2x2 dimana terdapat 2 buah antena di sisi pemancar dan 2 buah antena di sisi penerima. Konfigurasinya ialah 1 buah antena monopol dan 1 buah antena dipol di sisi pemancar, lalu 1 buah antena monopol dan 1 buah antena dipol di sisi penerima. Sehingga total antena yang harus dirancang adalah 4 buah antena.

Antena monopole dipasang secara vertikal baik pada sisi pemancar maupun sisi penerima. Antena monopole pada sisi pemancar dipasang di atas Gedung B Teknik Elektro ITS. Sedangkan pada sisi penerima antena monopole dipasang di atas gedung Teknik Elektro Universitas Musamus Merauke dengan ditambahkan tiang setinggi 6 meter agar antena monopole ini dapat menerima sinyal dari Surabaya dengan baik. Kedua antena ini bisa dilihat pada Gambar 3.20 dan 3.21



**Gambar 3.20** Antena vertikal monopole pada sisi pemancar



**Gambar 3.21** Antena vertikal monopole pada sisi penerima

Antena horizontal dipol terbuat dari beberapa bahan seperti kabel audio, balun (*balance to unbalance*) dengan tipe BU-50 sebagai *matching impedance* dan 2 buah isolator. Antena ini dipasang pada sisi pemancar di atas jembatan AJ Gedung Elektro ITS seperti ditunjukkan Gambar 3.22. Antena ini juga dipasang

pada sisi penerima di atas gedung Teknik Elektro Universitas Musamus Merauke seperti ditunjukkan pada Gambar 3.23.



**Gambar 3.22** Antena horizontal dipol di sisi pemancar



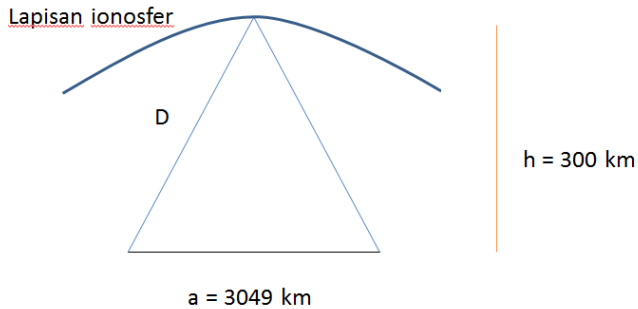
**Gambar 3.23** Antena horizontal dipol di sisi penerima

### **3.11 Perhitungan Link Budget**

Perhitungan link budget diperlukan untuk menghitung besar daya pancar yang dibutuhkan untuk mencapai jarak propagasi sinyal dari pemancar ke penerima.

Pada perhitungan link budget diperlukan nilai dari jarak propagasi gelombang HF melalui lintasan skywave. Lintasan skywave yang bisa dilihat pada Gambar 3.24 diasumsikan memiliki

ketinggian 300 km pada lapisan F ionosfer. Penelitian ini menggunakan link Surabaya-Merauke yang memiliki jarak garis lurus sebesar 3.049km.



**Gambar 3.24** Ilustrasi lintasan skywave

Untuk mengetahui jarak tempuh sebenarnya pada gelombang HF yang berpropagasi dalam link tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Pythagoras* seperti berikut ini:

$$D = \sqrt{(0,5a)^2 + h^2} \quad (3.3)$$

$$D = (1524^2 + 300^2)^{0,5} \text{ km}$$

$$D = 1553,2 \text{ km}$$

Setelah mendapatkan besar nilai D, maka jarak tempuh gelombang dalam link Surabaya-Merauke (d) dapat dihitung menjadi dua kali nilai D yaitu sebesar 3106,4 km. kemudian besar redaman FSL (*Free Space Loss*) untuk link Surabaya-Merauke dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$Lb = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (3.4)$$

$$Lb = 20 \log \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot 3106,4}{27,27} \right)$$

$$Lb = 63,11 \text{ dB}$$

**Tabel 3.6** Redaman pada lintasan *skywave*

Parameter	Nama Parameter	Nilai	Keterangan
$L_a$	<i>Absorption loss</i>	20 dB	Bernilai sekitar 0-20 dB ( $L_a \propto 1/f^2$ )
$L_b$	FSL ( <i>Free Space Loss</i> )	63,11 dB	$L_b = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$
$L_g$	<i>Multihop ground reflection loss</i>	4 dB	Bernilai antara 1-3dB/ reflection
$L_p$	<i>Polarization coupling loss</i>	3 dB	Bernilai antara 3-6 dB 3dB digunakan pada waktu pengukuran sedang baik (contohnya cuaca cerah)
$L_q$	<i>sporadic E obstruction loss</i>	1 dB	<i>Function of sporadice critical frequency;</i> Berniai antara 0-1 dB
$A_T$	<i>Total Loss</i>	91,11 dB	$L_a + L_b + L_g + L_p + L_q$

Nilai parameter dalam Tabel 3.6 didapat dari perhitungan langsung dan juga asumsi.  $L_a$  dan  $L_b$  didapat dari perhitungan rumus,  $L_g$  didapat dari asumsi bahwa HF memantul 2 kali dan tiap pantulannya bernilai 2 dB,  $L_p$  dan  $L_q$  juga didapat dari asumsi.

Propagasi pada kanal HF untuk link Surabaya-Merauke memiliki jenis redaman yang bermacam-macam seperti bisa dilihat pada Tabel 3.6. Dimana redaman total untuk lintasan skywave pada link Surabaya-Merauke adalah sebesar 91,11dB. Kemudian besar nilai daya terima di sisi penerima ( $P_{RX}$ ) dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P_{RX} = P_{TX} - LF_{TX} + G_{TX} - A_T + G_{RX} - LF_{RX} \quad (3.5)$$

$P_{RX}$  = daya terima (dB)

$P_{TX}$  = daya pancar (dBm)

$LF_{TX}$  = redaman kabel pemancar (dB)

$G_{TX}$  = gain antenna pemancar (dB)

$A_T$  = Pathloss / total redaman skywave (dB)

$G_{RX}$  = gain antenna penerima (dB)

$LF_{RX}$  = redaman kabel penerima (dB)

Karena daya pancar yang didapat dalam pengukuran masih dalam bentuk watt, maka dikonversi terlebih dahulu ke dalam dBm. Dan dari data yang didapat pada pengukuran daya pancar antenna pemancar adalah sebesar 50 watt atau menjadi 46,9 dBm. Dalam perhitungan link budget ini parameter yang nilainya sudah ditentukan adalah daya pancar, redaman kabel, dan gain antenna. Sedangkan redaman *skywave* didapat dari hasil perhitungan. Hasil dari perhitungan daya terima di sisi penerima dapat dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini

**Tabel 3.7** Perhitungan Link Budget

Simbol	Nilai	Keterangan
$P_{TX}$	46,9dBm	Daya pancar 50 W
$LF_{TX}$	0 dB	Karena tidak menggunakan USRP
$LF_{RX}$	-0,9dB	RG-58 Belden Loss = 3 dB/100m
$G_{TX}$	2,15 dB	Gain antenna pemancar
$G_{RX}$	2,15 dB	Gain antenna penerima
$A_T$	-91,11 dB	Total redaman skywave
$P_{RX}$	-42,81 dBm	Daya terima

### 3.12 Skenario Pengambilan Data dan Lokasi Pengukuran

Data didapatkan dengan cara melakukan pengukuran. Pengukuran ini diawali dengan mengimplementasikan sistem komunikasi HF MIMO yang telah dilakukan sebelumnya pada link Surabaya-Malang. Karena sebelum melakukan pengukuran pada link Surabaya-Merauke, dilakukan pengukuran antara link Surabaya-Malang agar mengetahui apakah peralatan yang digunakan berfungsi dengan baik. Jarak lintasan *line of sight* Surabaya-Merauke sebesar  $\pm 3049$  km. *Transmitter* diletakkan di Kota Surabaya tepatnya di Laboratorium Antena dan Propagasi Gedung B Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya dengan koordinat  $7^{\circ}17'5.81''\text{LS}$  dan  $112^{\circ}47'46.68''\text{BT}$ . Sedangkan receiver diletakkan di Kota Merauke

tepatnya di Gedung Teknik Elektro Universitas Musamus Merauke dengan koordinat  $8^{\circ}31'55.21''\text{LS}$  dan  $140^{\circ}25'1.58''\text{BT}$ .

Tahap pengukuran diawali dengan implementasi sistem komunikasi HF MIMO pada lokasi *transmitter* dan *receiver*. Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 19 hingga 23 November 2018 pada pukul 19.00 hingga 02.00 WIT. Rata-rata waktu di transmitnya radio adalah sekitar 30 menit sekali pengambilan data.

Terdapat beberapa prosedur yang perlu diperhatikan oleh *transmitter* dan *receiver* saat melakukan pengukuran, antara lain:

1. Membuat susunan jadwal pengukuran selama rentang waktu yang telah ditentukan.
2. Persiapan dan konfigurasi perangkat pada sistem pemancar di Laboratorium Antena dan Propagasi Gedung B Departemen Teknik Elektro ITS Surabaya
3. Persiapan dan konfigurasi perangkat pada sistem penerima di Gedung Teknik Elektro Universitas Musamus Merauke.
4. Sinkronisasi waktu antara Surabaya dan Merauke menggunakan antena GPS dan *octoclock* pada USRP channel 1 di sistem penerima. Fungsinya agar waktu kirim dan waktu terima sinyal tidak mengalami perbedaan. Lalu sebelum melakukan pengiriman atau penerimaan data dipastikan bahwa indikator GPS lock sudah nyala.
5. Persiapan penyimpanan folder khusus untuk data hasil pengukuran.
6. Antena pemancar dihubungkan dengan perangkat radio HF lalu diatur berapa frekuensi yang digunakan.
7. USRP channel 1 di penerima dihubungkan ke laptop melalui *gigabit ethernet interface*.
8. USRP channel 2 dihubungkan dengan USRP channel 1 melalui MIMO *cable*.
9. Port Refin dan Ppsin pada USRP channel 2 dihubungkan dengan port clock out dan Ppsout pada octoclock.
10. Pemancar akan mengirimkan sinyal setiap 30 menit sekali sampai data di simpan.
11. Penerima akan mengambil data selama 30 menit pada setiap percobaan.



12. Data yang dikeluarkan oleh pemancar berupa sinyal tone (AM).
13. Data yang diterima oleh penerima adalah data mentah berupa *baseband power spectrum* dan data IQ.
14. Data yang akan digunakan untuk pengolahan data adalah data IQ.
15. Proses pengolahan data diawali dengan melakukan proses FFT (*fast fourier transform*) di software MATLAB terhadap data IQ sehingga akan menghasilkan baseband channel.
16. Selanjutnya dilakukan proses *filtering* menggunakan teknik windowing. Hasil filter ini berupa empat respon kanal.

### 3.13 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data diawali dengan pemasangan sistem pengukuran di pemancar. Pada sistem penerima, dilakukan integrasi antara laptop dengan USRP melalui aplikasi labVIEW. Untuk proses integrasi kedua perangkat tersebut harus menggunakan kabel ethernet, *IP Address* USRP yang digunakan adalah *IP Address* dari USRP tersebut dan *IP Address* laptop diatur dengan subnet mask yang sama agar satu jaringan dan terkoneksi. Untuk mengetahui apakah USRP telah terhubung dengan laptop adalah dengan melihat *IP Address* USRP muncul di NI-USRP Configuration Utility.

Setelah laptop dan USRP terkoneksi, dilakukan pengukuran langsung dengan koordinasi terlebih dahulu antara pemancar dengan penerima melalui handphone agar mengetahui frekuensi sinyal *carier* yang dikirimkan. Setelah parameter penerima ditentukan, maka ketika sinyal itu dikirimkan akan terlihat kuat sinyal di bagan spektrum baseband dan pada bagan IQ *graph* dilakukan captured data sehingga data yang didapat berupa data I dan Q yang disusun dalam bentuk file .csv dimana masing-masing file berisi 16000 sampel yang sebelumnya sudah diatur pada labview.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## **BAB 4**

### **PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA**

Dalam bab 4 ini akan dibahas mengenai implementasi sistem pengukuran kanal HF MIMO 2x2 HF SKYWAVE MULTI-MODE yang menggunakan 2 buah antenna di sisi pemancar dan 2 buah antenna di sisi penerima dengan mode 2 kali pantulan karena memiliki jarak lebih dari 3000 km, baik itu pengujian disisi pemancar dan penerima, parameter yang digunakan dan juga analisis dari hasil pengukuran berupa IQ data ke dalam bentuk respons kanal.

#### **4.1 Rancangan Pengukuran**

Sebelum melakukan implementasi pengukuran terhadap kanal HF MIMO, diperlukan rancangan pengukuran yaitu seperti lokasi pengukuran, pemasangan antenna, dan parameter pengukuran.

##### **4.1.1 Lokasi Pengukuran**

Pengukuran kanal HF MIMO ini dilakukan di kota Surabaya sebagai lokasi antenna pemancar dan kota Merauke sebagai lokasi antenna penerima. Jarak antara kota Surabaya sebagai lokasi pemancar dan kota Merauke sebagai lokasi penerima adalah 3.049 km pada pengukuran garis lurus atau (Line of Sight) untuk link Surabaya-Merauke seperti bisa dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Link Surabaya-Merauke

#### 4.1.2 Pemasangan Antena

Pemasangan antena dilakukan setelah menentukan lokasi pemancar dan penerima. Antena dipasang 6 meter diatas gedung agar dapat memancarkan dan menerima sinyal dengan baik.

##### 4.1.2.1 Antena Pemancar

Pemasangan antena pada sisi pemancar di kota Surabaya ditunjukkan seperti pada Gambar 4.2. Dimana antena pemancar 1 (antena monopole) diletakkan di atas gedung B Elektro ITS dengan panjang antena kurang lebih 7 meter. Sedangkan antena pemancar 2 (antena dipole) dipasang di atas jembatan gedung AJ dengan panjang antena kurang lebih 21 meter dan panjang dari jembatan gedung AJ adalah 30 meter. Jarak antar antena 3 meter dan masing-masing memancarkan sinyal AM. Garis merah pada gambar tersebut merupakan garis lurus atau Line of Sight (LOS) pada link Surabaya-Merauke.



**Gambar 4.2** Posisi antena pemancar

Antena monopole dan dipole pada sisi pemancar dipasang secara vertikal dan horizontal pada ketinggian 12 meter dari permukaan tanah. Pola radiasi antena yang digunakan pada pengukuran ini adalah vertikal dan horizontal pada sisi pemancar 1 dan juga pemancar 2. Dimana pola radiasi antena monopole bersifat omnidirectional atau ke segala arah dan pola radiasi antena dipole bersifat horizontal. Maka dari itu antena dipole yang dipakai

pada pengukuran ini adalah antenna yang berada di atas jembatan AJ Teknik Elektro ITS karena antenna ini dipasang melintang kearah utara-selatan sehingga pola radiasi yang dihasilkan akan mengarah ke barat-timur. Dengan menggunakan antenna dipole tersebut maka sinyal yang dipancarkan dapat diterima dengan baik di sisi penerima yang berada di sebelah timur pemancar.

#### 4.1.2.2 Antena Penerima

Pemasangan antenna pada sisi penerima di kota Merauke ditunjukkan seperti pada Gambar 4.3 yang berada pada ketinggian kurang lebih 6 meter dari atas gedung. Antena dipole yang dipasang pada sisi penerima dipasang sesuai arah antenna pemancar yaitu melintang ke arah utara-selatan agar pola radiasinya menghadap barat-timur sehingga sinyal dapat diterima dengan baik. Kedua antenna ini juga dipasang setinggi 6 meter dari atas gedung agar lebih mudah untuk mendapatkan sinyal dari pemancar hal ini dikarenakan syarat untuk antenna berfungsi dengan baik adalah dipasang minimal 6 meter dari ground. Garis merah yang terdapat pada gambar 4.3 merupakan garis lurus atau Line of Sight (LOS) dari kota Merauke ke kota Surabaya.

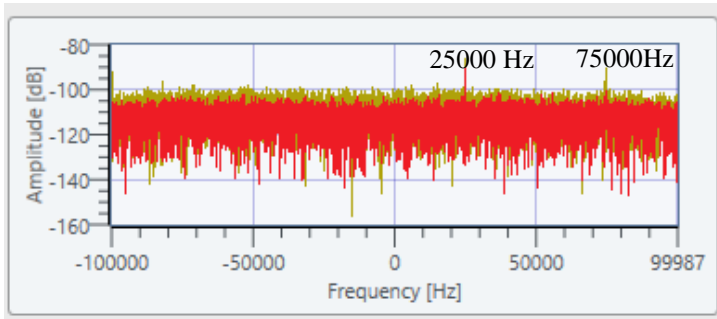


**Gambar 4.3** Posisi antenna penerima

#### 4.1.3 Parameter Pengukuran

Pengukuran ini menggunakan frekuensi carrier sebesar 0,025 MHz pada pemancar 1 dan 0,075 MHz pada pemancar 2 di

rentang frekuensi 9-11 MHz. Antena pada sisi penerima dikonfigurasi untuk menggunakan frekuensi kerja yang sama yaitu pada 9-11 MHz. pengaturan frekuensi carrier di USRP menunjukkan frekuensi center pada baseband power spectrum sehingga jika frekuensi yang dipancarkan pada transmitter menggunakan frekuensi 9,025 dan 9,075 MHz maka diatur terlebih dahulu carrier frequency di USRP dengan angka 9M. Cara ini diulang sampai frekuensi 11 MHz. setelah diatur maka bisa dilihat dan diamati dibagian kanan grafik baseband power spectrum, jika ada sinyal impuls digrafik tersebut maka frekuensi yang dipancarkan dapat diterima di antena penerima. Selanjutnya jika sudah muncul impuls pada grafik baseband power spectrum maka langsung dicapture dan disimpan data IQ-nya. Data yang diakuisisi pada pengukuran kali ini adalah berupa IQ Data. Setelah itu data IQ diolah untuk mendapatkan respon kanal. Untuk lebih jelas bisa dilihat Gambar 4.4



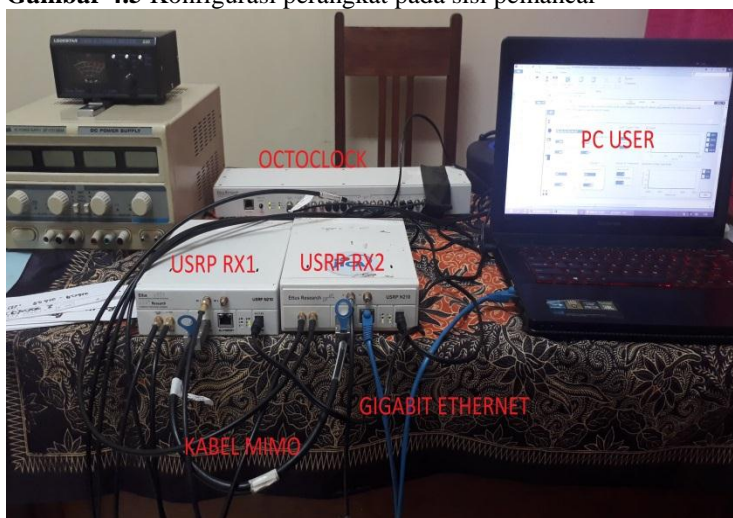
**Gambar 4.4** Baseband spektrum sinyal penerima

#### 4.2 Tahap Implementasi Pengukuran

Implementasi sistem pada pengukuran ini dilakukan pada kota Surabaya sebagai lokasi antena pemancar dan kota Merauke sebagai lokasi antena penerima. PC user (laptop) dihubungkan dengan USRP dengan menggunakan Gigabit Ethernet. Perangkat yang digunakan pada berlangsungnya proses pengukuran pada kota Surabaya sebagai lokasi pemancar ditunjukkan pada Gambar 4.5. Begitupulan perangkat yang digunakan pada sisi penerima di kota Merauke dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.5** Konfigurasi perangkat pada sisi pemancar



**Gambar 4.6** Konfigurasi perangkat pada sisi penerima

4.3 Pengujian Sistem disisi Pemancar

Hal-hal yang perlu diperhatikan di sisi pemancar yaitu menentukan frekuensi sinyal informasi yang akan digunakan, memeriksa kembali perangkat yang digunakan yaitu radio dan power meter. Lalu untuk memeriksa kembali apakah frekuensi yang digunakan dapat diterima di penerima adalah dengan cara mentransmisikan suara dari radio pemancar ke radio penerima. Cara ini digunakan untuk memeriksa apakah di rentang frekuensi yang dipakai telah dipakai orang atau tidak. Pemeriksaan selalu dilakukan sebelum melakukan pengukuran.

4.3.1 VSWR Antena Pemancar

Sebelum dilakaukan pengukuran pemeriksaan VSWR antenna wajib dilakukan agar kita dapat mengetahui apakah kondisi antenna baik atau buruk untuk memancarkan sinyal. Pemeriksaan ini dilakukan terhadap kedua buah antenna pemancar baik monopole dan dipole. Antena yang bagus memiliki VSWR kurang dari sama dengan 2. Pemeriksaan VSWR ini menggunakan perangkat SWR analyzer. Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.7 menunjukkan hasil VSWR antenna monopole dan antenna dipole.

Tabel 4.1 VSWR antenna pemancar

VSWR Antena Monopole			VSWR Anetena Dipole		
f=9,025	f=10,025	f=11,025	f=9,075	f=10,075	f=11,075
1,7	1,6	1,4	1,9	1,4	1,8



Gambar 4.7 VSWR antenna pemancar



#### 4.3.2 Daya Output Antena Pemancar

Daya output pada antena pemancar harus diperiksa sebelum melakukan proses pengukuran transmisi sinyal dari antena pemancar. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah daya pancar telah sesuai dengan apa yang diinginkan pada link budget. Jika daya pancar tidak memenuhi maka akan menyebabkan sinyal yang dikirim dari sisi pemancar tidak dapat diterima di sisi penerima. Pada Gambar 4.8(a) menunjukkan daya output yang dihasilkan dari antena monopole didapat angka 50 Watt. Gambar 4.8(b) menunjukkan daya output yang dihasilkan dari antena dipole didapat angka 50 Watt.



(a)



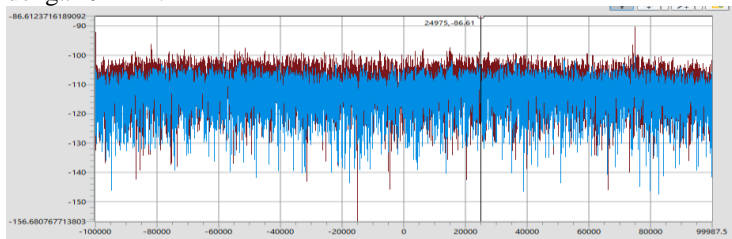
(b)

**Gambar 4.8** Daya output antena pemancar

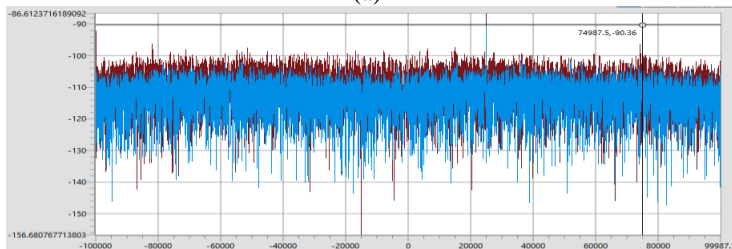
#### 4.4 Pengujian Sistem disisi Penerima

Subsistem penerima pada perancangan ini diletakkan di kota Merauke. Subsistem penerima ini terdiri dari berbagai macam

perangkat seperti octoclock, antenna GPS, dan juga USRP. Perangkat-perangkat ini disusun dan dihubungkan satu sama lain dengan antenna dan laptop agar bekerja dengan baik. Sinyal dari antenna pemancar langsung masuk ke perangkat USRP. Sinyal baseband yang diterima berupa IQ Data yang diambil dengan format IQ Rate sebesar 200kSampling/second dan number of sample sebesar 16000sample/second. Nilai tersebut merupakan nilai minimum yang dipergunakan pada perangkat USRP N210. Penggunaan sinyal DC sebagai sinyal informasi yang digunakan pada pengukuran kali ini bertujuan agar sinyal yang diterima pada sistem dapat dengan mudah dianalisis. Hasil IQ data tersebut kemudian diolah menggunakan Matlab untuk mendapatkan hasil respons kanal dari setiap kanal yaitu kanal h11, h12, h21, dan h22. Hasil dari output sinyal dapat dilihat pada Gambar 4.9 (a) dan (b). Pada Gambar 4.9 (a) dapat dilihat sinyal pada frekuensi carrier 0,025 MHz diterima di USRP. Sedangkan pada Gambar 4.9 (b) menunjukkan frekuensi carrier 0,075 MHz diterima di USRP. Munculnya angka tersebut karena frekuensi center pada Labview di atur pada angka 9MHz sehingga angka 0 pada grafik sama dengan 9MHz.



(a)

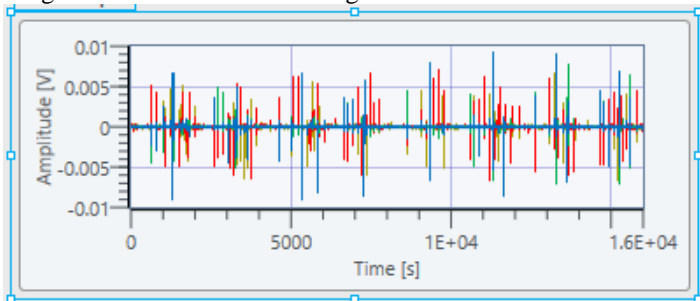


(b)

**Gambar 4.9** Hasil output sinyal

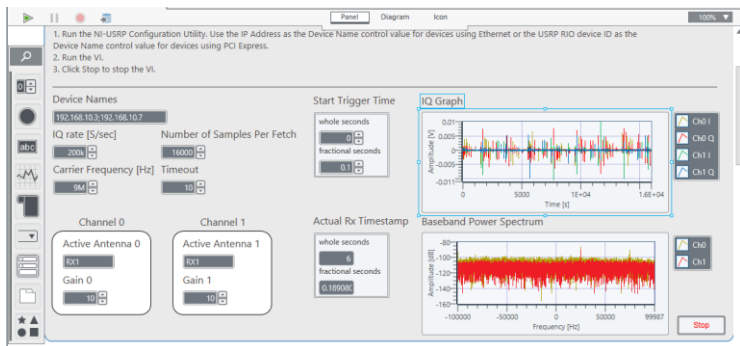
#### 4.5 Hasil Pengukuran Respons Kanal

Hasil data pengukuran dilakukan pada tanggal 19-23 November 2018 pukul 19:00 hingga 02:00 WIT. Data yang disimpan berupa IQ Data pada kedua channel yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Pada gambar tersebut sinyal yang berwarna biru dan hijau adalah sinyal I dan sinyal yang berwarna merah dan kuning adalah sinyal Q. IQ Data tersebut lalu disimpan dan diolah agar didapatkan hasil respons kanal menggunakan software Matlab. Proses untuk mendapatkan bentuk respons kanal dari masing-masing kanal adalah menggunakan proses demodulator dengan metode product detector yang berguna untuk mendapatkan sinyal informasi kembali (bergeser ke angka 0) dan juga untuk memudahkan dalam proses filter digital. Proses kerjanya ialah mengalikan sinyal dengan frekuensi dirinya sendiri. Setelah melalui proses demodulator tersebut, maka akan dilanjutkan dengan proses filtering menggunakan LPF (Low Pass Filter) dengan teknik window Hamming.

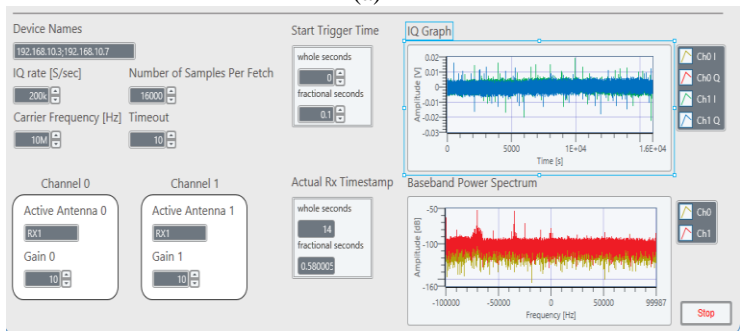


**Gambar 4.10** IQ Graph

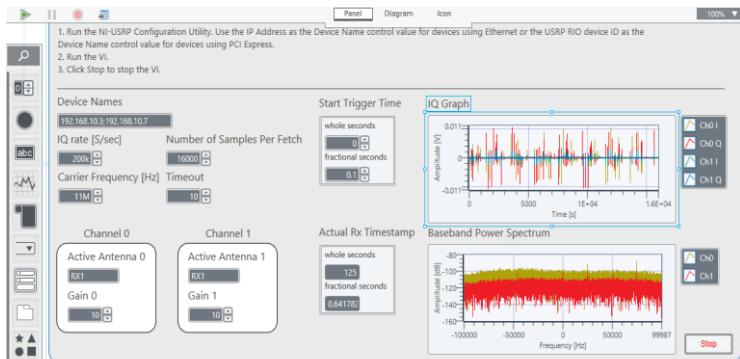
Pada sistem penerima diatur agar dapat menangkap sinyal frekuensi pada rentang 9-11 MHz. Selain itu juga diatur penggunaan parameter IQ Rate sebesar 200k sampling/second pada perangkat USRP. Sinyal terima pada rentang frekuensi 9-11 MHz tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.11 (a) yaitu frekuensi 9 MHz, 4.11 (b) frekuensi 10 MHz, 4.11 (c) frekuensi 11 MHz. pada gambar tersebut terdapat 2 buah sinyal yang menduduki frekuensi 25 KHz dan 75 KHz. Sinyal pada frekuensi tersebut merupakan sinyal carrier yang dikirim oleh pemancar 1 maupun pemancar 2.



(a)



(b)

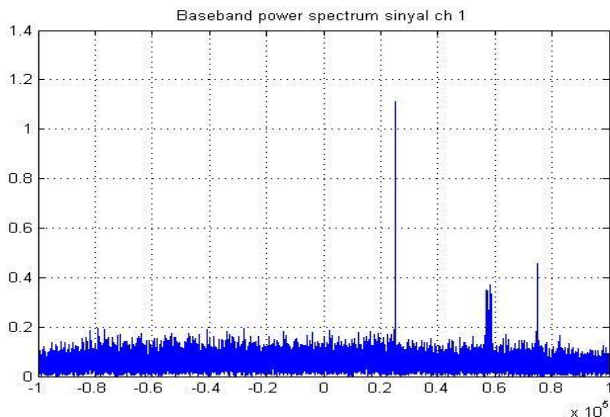


(c)

**Gambar 4.11** Gambar USRP ketika sinyal diterima

Data IQ yang telah disimpan lalu diolah oleh program Matlab dan selanjutnya akan dilakukan proses fast fourier transform untuk mendapatkan baseband sinyal. Setelah dilakukan proses ini maka hasilnya lalu di-plot kedalam sebuah grafik. Hasil dari proses ini dapat dilihat pada gambar 4.12 dan gambar 4.13.

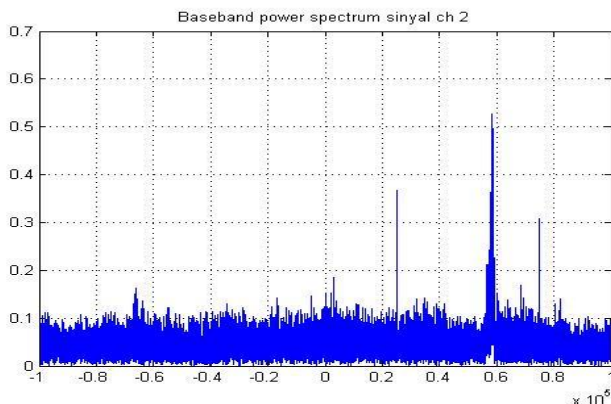
Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 adalah salah satu contoh hasil pengolahan data terekam yang menunjukkan baseband power spektrum channel 1 dan channel 2 pada waktu pengukuran hari Kamis tanggal 21 November 2018 pukul 00:58 WIT. Frekuensi center yang digunakan pada sisi penerima adalah frekuensi 9 MHz sedangkan frekuensi local osilator yang digunakan pada sisi pemancar 1 adalah 9,025 MHz dan pada sisi pemancar 2 adalah 9,075 MHz. Sehingga jika data IQ penerima diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik baseband sinyal maka penerima 1 akan menerima informasi dari pemancar 1 yang nilainya bergeser sejauh 25000 Hz dan informasi dari pemancar 2 yang nilainya bergeser sejauh 75000 Hz. Sedangkan penerima 2 juga akan menerima informasi dari pemancar 1 yang nilainya bergeser sejauh 25000 Hz dan informasi dari pemancar 2 yang nilainya bergeser sejauh 75000 Hz.



**Gambar 4.12** Baseband power spectrum channel 1

Pada Gambar 4.12 memperlihatkan salah satu data pengukuran dimana terdapat sinyal pada frekuensi 25000 Hz dan juga pada frekuensi 75000 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa

channel 1 menerima sinyal yang berasal dari pemancar 1 dan sinyal yang berasal dari pemancar 2.



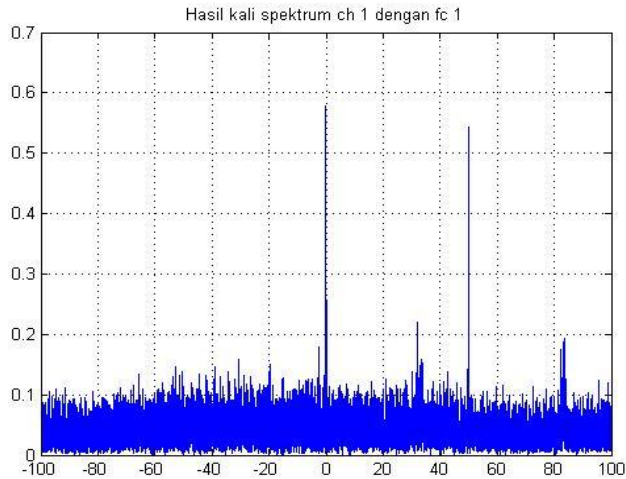
**Gambar 4.13** Baseband power spectrum channel 2

Pada Gambar 4.13 menunjukkan salah satu data pengukuran dimana terdapat sinyal pada frekuensi 25000 Hz dan juga pada frekuensi 75000 Hz. Hal itu menunjukkan bahwa channel 1 menerima sinyal yang berasal dari pemancar 1 dan sinyal yang berasal dari pemancar 2.

Setelah mengetahui bahwa data IQ yang diterima memuat informasi yang dikirim maka selanjutnya adalah menggeser sinyal informasi agar berada pada frekuensi 0 Hz. Tujuan dari pergeseran ini ialah untuk memudahkan pada proses filter digital.

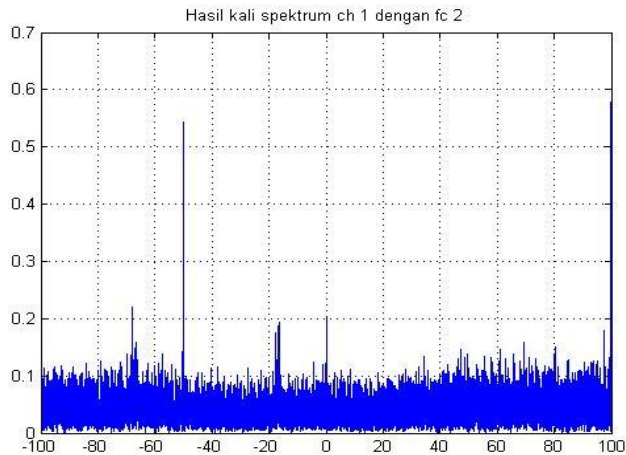
Sinyal informasi dari pemancar 1 berada pada frekuensi 25000 sehingga untuk mendapatkan sinyal informasi 1 pada antenna penerima 1 maka sinyal baseband channel 1 dikalikan dengan frekuensi carrier 1 yaitu frekuensi 25000 Hz. Hasil dari perkalian ini dapat dilihat pada Gambar 4.14.

Sedangkan sinyal informasi dari sinyal pemancar 2 berada pada frekuensi 75000 Hz sehingga untuk mendapatkan sinyal informasi 2 pada antenna penerima 1 maka baseband channel 2 dikalikan dengan frekuensi carrier 2 yaitu frekuensi 75000 Hz. Hasil perkalian ini dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.14** Hasil kali baseband channel 1 dengan  $F_C 1$

Gambar 4.14 menunjukkan hasil kali dari baseband channel 1 dengan frekuensi carrier 1. Hasil perkalian ini menghasilkan sinyal yang berada pada frekuensi 0 Hz.

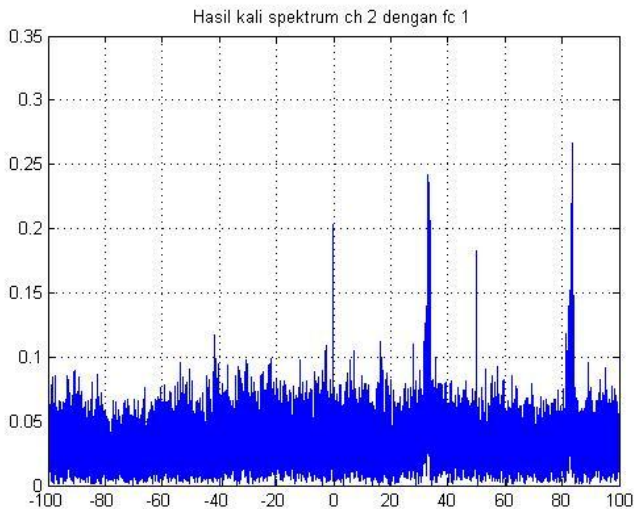


**Gambar 4.15** Hasil kali baseband channel 1 dengan  $F_C 2$

Hal yang sama juga ditunjukkan pada Gambar 4.15. Hasil kali dari baseband channel 1 dengan frekuensi carrier 2 terlihat pada Gambar 4.15. Hasil dari perkalian sinyal informasi 2 berada pada frekuensi 0 Hz.

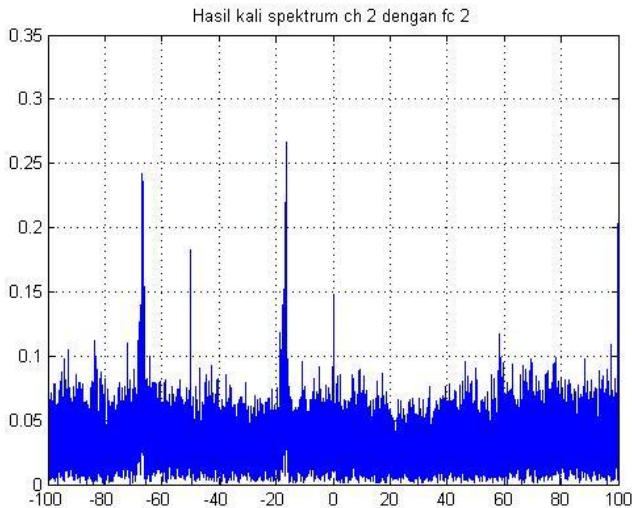
Perkalian ini juga dilakukan pada baseband channel 2. Sinyal informasi 1 pada antenna penerima 2 bisa didapatkan dengan cara mengkalikan baseband channel 2 dengan frekuensi carrier 1. Hasil dari perkalian ini diilustrasikan pada Gambar 4.16.

Sedangkan sinyal informasi 2 pada antenna penerima 2 bisa didapatkan dengan cara mengkalikan baseband channel 2 dengan frekuensi carrier 2. Hasil dari perkalian ini diilustrasikan pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.16** Hasil kali baseband channel 2 dengan  $F_C 1$





**Gambar 4.17** Hasil kali baseband channel 2 dengan  $F_C 2$

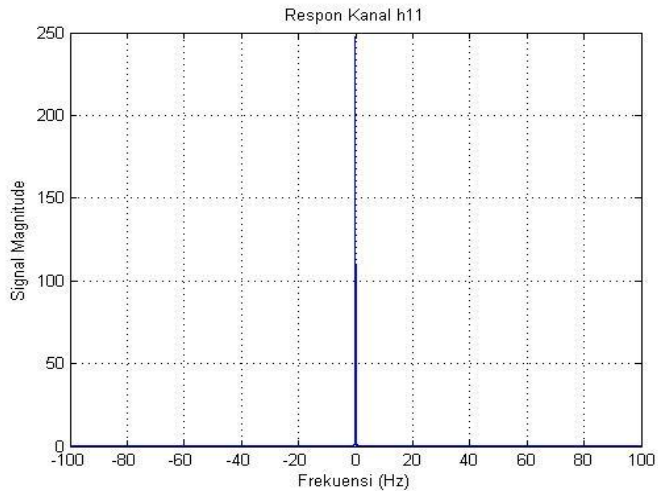
Hasil kali ini menghasilkan empat buah sinyal. Selanjutnya keempat buah sinyal ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai dari respon kanal.

Setelah melewati proses perkalian dengan frekuensi carrier maka tahap selanjutnya adalah mendapatkan nilai respon kanal. Pada penelitian ini sinyal yang dikirimkan berupa sinyal tone pada frekuensi 0Hz sehingga untuk mendapatkan respon kanal cukup hanya dengan melakukan filter. Filter yang digunakan adalah filter yang menggunakan teknik windowing dengan memilih window Hamming.

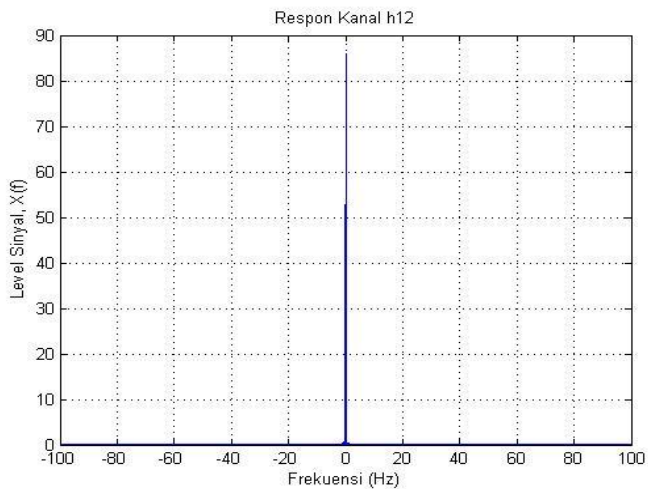
Setelah mendesain filter dengan teknik windowing maka tahap selanjutnya adalah melakukan konvolusi antara fungsi filter dengan fungsi sinyal hasil perkalian. Hasil dari proses konvolusi ini menghasilkan nilai respon kanal setiap channel transmitter terhadap setiap channel receiver. Terdapat empat buah respon kanal yang dihasilkan yang diberi simbol  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  dan  $h_{22}$ .

Nilai  $h_{11}$  menunjukkan respon kanal antara channel 1 pada transmitter terhadap channel 1 pada receiver. Nilai  $h_{12}$  menunjukkan respon kanal antara channel 2 pada transmitter terhadap channel 1 pada receiver. Nilai  $h_{21}$  menunjukkan respon

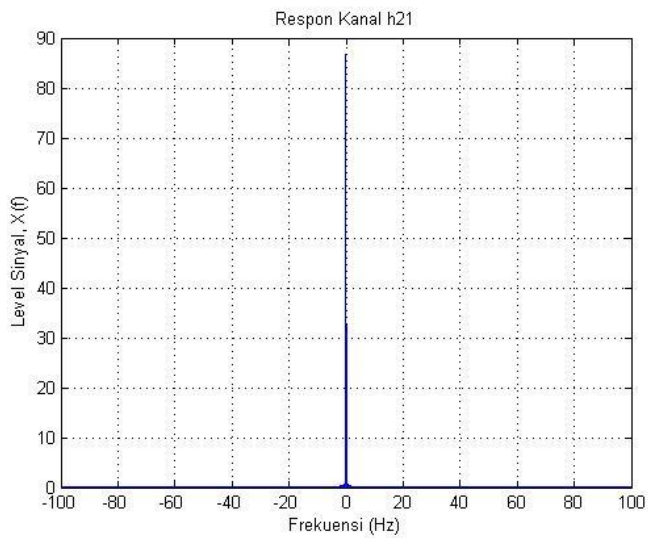
kanal antara channel 1 pada transmitter terhadap channel 2 pada receiver. Nilai  $h_{22}$  menunjukkan respon kanal antara channel 2 pada transmitter terhadap channel 2 pada receiver. Hasil respon kanal dapat dilihat pada Gambar 4.18.



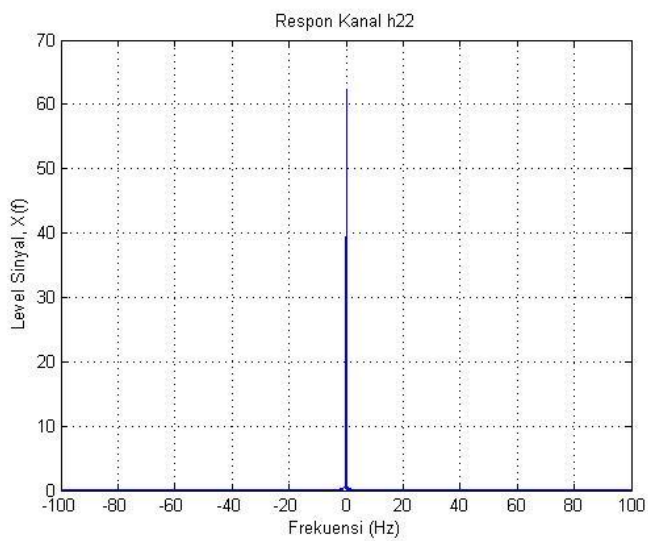
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.18** Respon kanal (a) h11 (b) h12 (c) h21 (d) h22

Gambar 4.18 menunjukkan hasil filter dari hasil kali baseband channel dengan frekuensi carrier. Sehingga respon kanal ini berada pada frekuensi 0 Hz. Respon kanal ini berupa bilangan kompleks sehingga sumbu y pada gambar 4.18 menunjukkan nilai magnitudo dari respon kanal. Sumbu x pada gambar 4.18 menunjukkan frekuensi. Respons kanal tersebut terdiri dari bilangan kompleks seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Nilai-nilai tersebut yang nantinya dapat diolah dan dipergunakan lebih lanjut untuk keperluan perhitungan korelasi antar kanal maupun perhitungan kapasitas kanal.

**Tabel 4.2** Hasil respon kanal pada link Surabaya-Merauke

Kanal	Bilangan Kompleks
h11	-74.8261 +72.2042i
h12	10.5327 +31.3256i
h21	-9.7763 -15.2860i
h22	-22.3032 -10.7290i

#### 4.6 Sintesis

Berdasarkan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan maka, desain pengukuran ini dapat digunakan untuk menguji ketersediaan pada link Surabaya-Merauke. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan pengukuran kanal HF MIMO ini adalah melakukan pemeriksaan terhadap output keluaran setiap perangkat. Seperti pemeriksaan parameter VSWR pada 4 buah antenna yang digunakan untuk memastikan VSWR antenna dibawah 2. Selain VSWR juga perlu diperiksa seberapa besar daya dari antenna tersebut. Hal ini perlu dilakukan agar proses pengukuran berjalan dengan baik.

Desain sistem pada sisi pemancar adalah menggunakan radio HF dan antenna sebagai pemancar sinyal AM pada rentang frekuensi 9-11 MHz. Sebelum melakukan pengukuran diperiksa terlebih dahulu komunikasi antara link Surabaya-Merauke dengan komunikasi radio. Jika komunikasi radio antara link Surabaya-Merauke berhasil maka bisa dilanjutkan untuk pengukuran menggunakan USRP dan data bisa diambil dalam software LabVIEW yang berupa data IQ. Pemilihan waktu pengukuran juga dilakukan dari pukul 19:00 sampai 02:00 WIT karena pada rentang waktu ini yang memungkinkan terjadinya komunikasi antara link

Surabaya-Merauke. Hal ini dipengaruhi oleh lapisan ionosfer sebagai media pemantul sinyal HF yang dipancarkan dari pemancar. Pada rentang waktu ini lapisan ionosfer sangat baik untuk memantulkan frekuensi 9-11 MHz dari Surabaya ke Merauke dan juga rentang frekuensi ini masih dibawah MUF Surabaya-Merauke sehingga dapat digunakan. Lalu sebelum melakukan pengukuran terlebih dahulu perlu dikomunikasikan pada operator disisi pemancar maupun operator disisi penerima. Agar sinyal yang dikirim dapat diketahui sinyalnya di sisi penerima. Persiapan perangkat keras lainnya seperti octoclock, antena GPS, dan catu daya DC perlu dilakukan pemeriksaan sebelum melakukan proses pengukuran agar pada saat proses pengukuran, semua perangkat sudah bekerja dengan baik.

Hasil data pada sisi penerima berupa IQ data. IQ data yang telah diakuisisi dapat disimpan dan diolah ke dalam bentuk respons kanal menggunakan *software* Matlab. Dimana konfigurasi MIMO 2x2 ini akan menghasilkan 4 buah respon kanal yaitu kanal  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ , dan  $h_{22}$ .

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan, maka didapat kesimpulan seperti dibawah ini:

1. Sistem pengukuran respons kanal HF MIMO 2x2 SKYWAVE telah berhasil didesain dan diimplementasikan pada link Surabaya-Merauke.
2. Sistem pengukuran kanal HF MIMO 2x2 SKYWAVE menggunakan pemancar radio HF pada sisi pemancar dan USRP pada sisi penerima.
3. Pengukuran dilakukan pada pukul 19:00 sampai pukul 02:00 WIT karena pada rentang waktu ini yang memungkinkan untuk berkomunikasi antara link Surabaya-Merauke pada rentang frekuensi 9-11 MHz.
4. Pengukuran respons kanal HF MIMO 2x2 SKYWAVE diimplementasikan pada pemancar yang menggunakan 2 buah frekuensi yang berbeda lalu diterima oleh 2 penerima.
5. Pengukuran HF MIMO 2x2 ini berhasil menghasilkan 4 buah sinyal yang selanjutnya diolah menggunakan software Matlab untuk mendapatkan 4 buah respon kanal yaitu kanal h11, h12, h21, dan h22.

#### **5.2 Saran**

Dalam pengembangan sistem pengukuran komunikasi HF MIMO 2x2 berikutnya dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Selalu melakukan pemeriksaan terhadap seluruh output keluaran perangkat yang akan digunakan dalam proses pengukuran

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Choiriyah, *Analisis Korelasi Kanal dan Kapasitas HF MIMO NVIS*. Elektro ITS, Surabaya, 2017.
- [2] L. F. McNamara, *The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding*, Original ed. Malabar, Fla: Krieger Pub. Co, 1991.
- [3] Liana, Teresa.”Analisis Kuat Medan Pada Penerimaan Radio AM”. Fakultas Teknik UI. 2008.
- [4] Australian Government. 2007. *IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation*. Sidney, Australia.
- [5] <http://electronicstechnician.tpub.com/14092/css/Skip-Distance-And-Zone-17.htm> diakses tanggal : 10 November 2018
- [6] A. Nisa.”Sistem Komunikasi High Frequency (HF) Pada Lintasan Surabaya Merauke”, Elektro ITS, Surabaya, 2013.
- [7] Suharti, Sri.”Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat”. Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara Vol. 6 no. 1 Maret 2011.
- [8] E. Sri, M. Diah. R, R.Nancy, D. Marlia,”Lapisan E Sporadic Ionosfer Global Dari Teknik GPS-RO”, Berita Dirgantara, Vol.13, No. 2, 2012.
- [9] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 2nd ed. New York: Wiley, 1997.
- [11] V. Aryaditya, *Pengukuran dan Karakterisasi Interferensi Radio pada Pita Frekuensi High Frequency (HF)*. Elektro ITS, Surabaya, 2016.
- [12] [http://www.oocities.org/husni\\_ums/sislin/sislin05.htm](http://www.oocities.org/husni_ums/sislin/sislin05.htm) diakses tanggal : 10 November 2018
- [13] Tim Pengampu Mata Kuliah. Pengolahan Sinyal Digital. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [14] Peraturan Menteri No. 25 Tahun tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia
- [15] Alamouti, S.M. 1998. “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications”. IEEE Journal on select Area in Communications, Vol. 16, No. 8.

- [16] <http://www.voacap.com/hf/> diakses tanggal: 19 November 2018

# LAMPIRAN LAMPIRAN A

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Kurniawan Dwi Arianto  
Nomor Pokok : 07111440000010  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2018/2019  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D  
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
Judul Tugas Akhir : Sistem Pengukuran Respons Kanal MIMO 2x2 HF Skywave  
Multi-Mode  
(Multi-Mode HF Skywave MIMO 2x2 Channel Response  
Measurement System)

05 SEP 2018

## Uraian Tugas Akhir :

Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF) adalah sistem komunikasi jarak jauh yang bekerja pada spektrum frekuensi 3-30 MHz dan sistem komunikasi ini digunakan sebagai komunikasi radio jarak jauh karena memanfaatkan pantulan yang disebabkan oleh ionosfer.. Selain itu sistem komunikasi HF ini juga tergolong murah karena tidak membutuhkan *repeater* untuk mencapai jarak tempuh lebih dari 3.000 km sehingga cocok digunakan di Indonesia yang kondisi geografisnya banyak dipisahkan oleh laut karena merupakan negara kepulauan. Lalu kelebihan lain yang dimiliki sistem komunikasi HF adalah menggunakan peralatan yang relatif mudah untuk diimplementasikan. Komunikasi HF ini bergantung pada kondisi ionosfer seperti ketinggian lapisan ionosfer, letak geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Selain itu untuk meningkatkan ketersediaan kanal yang terbatas pada sistem komunikasi HF maka diimplementasikan antenna *multi-input multi-output*(MIMO) 2x2 dengan memasang 2 buah antenna yang dipasang orthogonal pada masing-masing pemancar dan penerima.

Pengukuran dilakukan dari Surabaya–Merauke, dimana pengukuran ini akan dilakukan dari Surabaya sebagai transmitter lalu Merauke sebagai receiver. Dalam pemodelan kanal MIMO HF membutuhkan parameter respons kanal. Oleh karena itu dilakukan perancangan desain sistem pengukuran untuk mendapatkan respons kanal

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
NIP. 19701111993031002

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
NIP. 196109031989031001

Mengesahui,  
Ketua Program Studi S1


Menyetujui,  
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi



Dedet C. Riawan ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP.197311192000031001


Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D  
NIP.197011111993031002

## LAMPIRAN B



Ettus Research  
A National Instruments Company

### USRP™ N200/N210 NETWORKED SERIES



Ettus Research USRP N200

#### FEATURES:

- Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
- Modular Architecture: DC-6 GHz
- Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
- Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
- DDC/DUC with 25 mHz Resolution
- Up to 50 MS/s Gigabit Ethernet Streaming
- Fully-Coherent MIMO Capability
- Gigabit Ethernet Interface to Host
- 2 Gbps Expansion Interface
- Spartan 3A-DSP 1800 FPGA (N200)
- Spartan 3A-DSP 3400 FPGA (N210)
- 1 MB High-Speed SRAM
- Auxiliary Analog and Digital I/O
- 2.5 ppm TCXO Frequency Reference
- 0.01 ppm w/ GPSDO Option

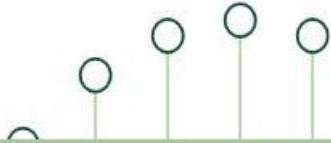
#### N200/N210 PRODUCT OVERVIEW:

The Ettus Research™ USRP™ N200 and N210 are the highest performing class of hardware of the USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) family of products, which enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The N200 and N210 hardware is ideally suited for applications requiring high RF performance and great bandwidth. Such applications include physical layer prototyping, dynamic spectrum access and cognitive radio, spectrum monitoring, record and playback, and even networked sensor deployment.

The Networked Series products offers MIMO capability with high bandwidth and dynamic range. The Gigabit Ethernet interface serves as the connection between the N200/N210 and the host computer. This enables the user to realize 50 MS/s of real-time bandwidth in the receive and transmit directions, simultaneously (full duplex).

The Networked Series MIMO connection is located on the front panel of each unit. Two Networked Series units may be connected to realize a complete 2x2 MIMO configuration using the optional MIMO cable. External PPS and reference inputs can also be used to create larger multi-channel systems. The N200 and N210 are largely the same, except that the N210 features a larger FPGA for customers that intend to integrate custom FPGA functionality.

The USRP Hardware Driver™ is the official driver for all Ettus Research products. The USRP Hardware Driver supports Linux, Mac OS/X, Windows.

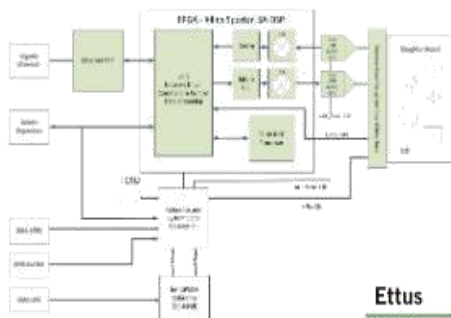


## USRP™ N200/N210 NETWORKED SERIES

### SPECIFICATIONS

Spec	Typ.	Unit	Spec	Typ.	Unit
<b>POWER</b>			<b>RF PERFORMANCE (w/ WBX)</b>		
DC Input	6	V	SSB/LO Suppression	35/50	dBc
Current Consumption	1.3	A	Phase Noise (1.8 GHz)		
w/ WBX Daughterboard	2.3	A	10 kHz	-80	dBc/Hz
<b>CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS</b>			100 kHz	-100	dBc/Hz
ADC Sample Rate	100	MS/s	1 MHz	-137	dBc/Hz
ADC Resolution	14	bits	Power Output	15	dBm
ADC Wideband SFDR	88	dBc	IIP3	0	dBm
DAC Sample Rate	400	MS/s	Receive Noise Figure	5	dB
DAC Resolution	16	bits	<b>PHYSICAL</b>		
DAC Wideband SFDR	80	dBc	Operating Temperature	0 to 55°	C
Host Sample Rate (Bb/16b)	50/25	MS/s	Dimensions (l x w x h)	22x16x5	cm
Frequency Accuracy	2.5	ppm	Weight	1.2	kg
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm			

\* All specifications are subject to change without notice.



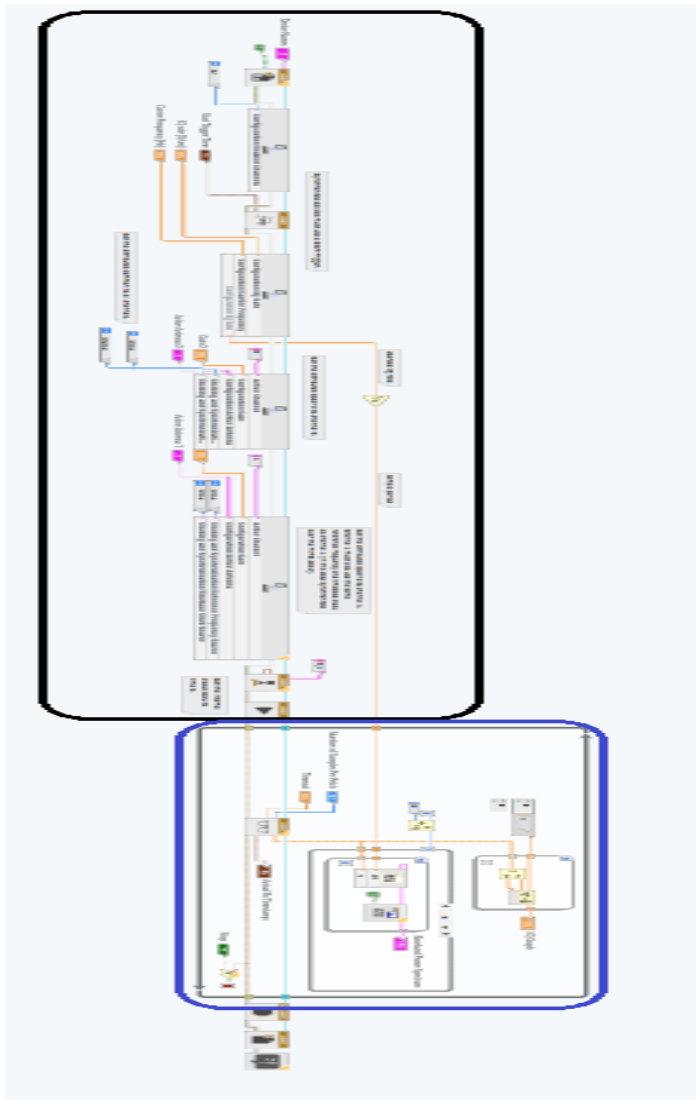
### ABOUT ETTUS RESEARCH:

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2006 and is based in Mountain View, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.

1003 North Shoreline Blvd  
Suite 100  
Mountain View, CA 94063

P 650.967.2870 [www.ettus.com](http://www.ettus.com)  
F 866.807.9801

## LAMPIRAN C



## LAMPIRAN D

Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Jam	Frekuensi	h11	h12	h21	h22
19-11-2018	20.20 WIT	9MHz	20.506 4 - 14.716 2i	- 24.252 6 - 3.7949i	17.532 5 + 0.5949i	- 14.961 8 +24.39 50i
	20.32 WIT		2.9615 - 5.8183i	- 55.311 5 + 3.4019i	4.8826 - 16.245 4i	- 14.552 6 +27.59 16i
	20.50 WIT		0.0563 + 1.5871i	2.4410 - 2.0293i	0.4250 - 0.1711i	-0.3387 - 0.9389i
	21.20 WIT		-4.5075 +16.88 90i	- 22.200 0 - 3.8713i	8.4382 - 24.462 3i	14.056 8 - 9.9172i
	22.39 WIT		-2.4690 +23.61 96i	42.677 4 + 6.7008i	- 19.975 9 +22.07 31i	28.554 6 +49.34 67i
	22.56 WIT		8.7093 +14.64 39i	-2.8519 +15.05 74i	- 20.358 1 - 7.0567i	- 18.239 2 + 0.2611i
	23.01 WIT		-2.7877 + 8.2694i	-7.0730 + 7.7911i	-2.8895 +17.90 80i	- 10.995 4 +13.38 04i
	23.08 WIT		- 14.158 2 +13.99 40i	- 12.906 1 +25.70 10i	- 18.110 5 - 24.309 5i	- 36.576 2 +24.90 78i

	23.24 WIT		5.4384 - 8.0186i	-4.4555 - 15.154 8i	8.8749 +12.99 55i	-6.3936 - 3.7513i
	23.31 WIT		16.279 2 +22.51 63i	- 14.018 0 +11.95 95i	- 13.497 5 +16.67 93i	2.2198 - 13.663 4i
20-11- 2018	20.00 WIT	9MHz	-1.0315 +10.24 89i	- 26.584 6 + 1.2191i	- 45.005 0 +20.57 84i	50.274 0 +29.70 02i
	20.11 WIT		1.1081 - 16.874 8i	1.5196 + 4.5949i	- 79.280 6 +50.93 22i	- 20.507 5 - 25.218 7i
	20.22 WIT		29.588 9 - 0.1261i	-5.0227 + 4.4545i	- 6.5101 e+01 - 1.5700 e+02i	-5.7538 - 35.785 3i
	20.30 WIT	10MHz	- 69.253 1 +60.72 05i	- 17.328 5 +56.67 71i	- 3.7472 e+02 + 1.3328 e+02i	31.076 8 - 90.991 8i
	20.45 WIT	9MHz	- 12.774 1 - 5.3639i	19.668 5 - 20.399 6i	- 17.341 5 - 6.2791i	2.3235 - 6.4698i
	20.53 WIT		- 34.705 3 +17.11 45i	- 55.769 3 +27.62 65i	- 94.443 9 - 26.561 0i	27.375 6 - 53.960 9i
	21.00	10MHz	-	29.679	-	17.139



	WIT		33.141 2 +33.82 39i	5 +71.84 09i	2.8010 e+02 - 4.0791 e+01i	5 - 87.177 9i
	21.12 WIT	10MHz	- 25.283 8 +17.91 22i	-0.1918 - 9.1100i	- 97.602 2 - 89.907 3i	-9.0255 +23.02 19i
	21.36 WIT		- 13.989 3 +12.39 36i	11.110 2 +21.46 57i	- 22.978 3 +29.70 97i	62.962 5 - 78.345 7i
	22.47 WIT		-0.5712 + 0.6987i	0.5642 - 0.6171i	14.486 4 - 7.1856i	-1.9203 - 1.2003i
21-11- 2018	20.38 WIT	9MHz	- 20.274 4 + 4.4457i	-3.5290 + 7.7837i	18.260 3 +37.17 32i	- 10.633 9 + 9.8965i
	20.45 WIT		- 15.806 8 +26.29 28i	1.7166 +53.05 16i	63.043 5 - 7.8639i	47.330 8 - 37.401 3i
	20.46 WIT		36.175 7 - 0.7094i	-2.5868 +43.65 67i	11.423 7 - 49.138 1i	41.034 3 - 5.4195i
	20.48 WIT		4.4432 - 1.4826i	- 13.285 2 +31.15 60i	2.9278 +16.22 99i	20.387 4 - 4.6559i
	21.11 WIT		-7.1040 - 2.4847i	0.0670 + 7.3019i	- 13.649 9 + 8.3533i	34.269 9 - 34.784 5i

	21.35 WIT		1.6855 +12.18 46i	-1.0985 +21.54 46i	-6.3393 - 9.9755i	14.174 4 - 19.213 1i
	22.10 WIT		2.5543 - 9.2922i	-5.3409 +10.02 50i	-5.4821 - 22.999 8i	19.199 2 +23.12 57i
	22.15 WIT		-0.5051 + 3.4102i	1.9871 - 24.411 8i	5.2614 + 7.5889i	- 26.939 8 +15.46 14i
	23.12 WIT		21.594 0 - 28.368 9i	0.6681 - 15.620 3i	-7.4072 - 55.627 5i	-6.3508 - 6.1248i
	23.19 WIT		-4.1845 +60.67 07i	5.3261 - 10.879 5i	98.428 8 - 76.682 5i	- 19.233 8 + 5.4873i
	23.20 WIT		- 20.200 2 - 12.376 3i	-5.6754 + 0.1729i	- 28.732 8 +34.89 71i	3.8365 - 4.6822i
22-11- 2018	19.46 WIT	9MHz	25.595 4 - 27.397 4i	12.279 0 - 8.8726i	- 24.194 1 +11.64 21i	1.7431 + 1.2803i
	19.51 WIT		83.497 4 +12.14 39i	11.652 6 - 44.617 3i	- 53.203 5 +12.77 24i	26.273 9 + 9.9439i
	19.52 WIT		- 63.116 4 +	- 54.975 4 -	40.832 4 - 6.7949i	24.974 2 + 3.0356i

			3.7473i	19.161 1i		
	19.53 WIT		- 29.477 0 +14.27 07i	48.285 9 - 51.050 2i	11.612 3 - 19.183 7i	- 12.659 6 +55.37 21i
	20.55 WIT		13.138 7 - 76.500 4i	35.366 1 +10.31 44i	82.682 2 +58.67 21i	- 19.890 9 + 7.9975i
	23.01 WIT		1.2836 e+02 + 5.5238 e+01i	-3.2516 - 4.1983i	- 83.345 9 +10.95 35i	3.8954 + 2.9343i
	23.36 WIT		1.0253 e+02 + 3.6625 e+01	- 17.159 3 + 7.0997i	- 52.396 0 +19.50 70i	-4.3344 - 12.716 3i
	23.44 WIT		- 32.961 7 - 0.3426i	6.2740 - 4.5459i	10.344 5 +35.12 97i	0.3497 +16.07 48i
	23.46 WIT		66.185 7 - 11.437 5i	68.344 7 +95.30 49i	32.916 3 +36.72 31i	- 22.700 9 - 12.301 7i
	23.54 WIT		1.2737 e+02 - 2.2120 e+01i	-4.8204 - 0.5358i	- 23.688 1 +57.32 59i	11.094 4 - 10.262 9i
23-11- 1018	00.34 WIT	9MHz	54.202 3 + 5.9540i	19.354 3 +26.18 60i	- 32.511 5 +14.41	- 14.848 8 + 8.4853i

					25i	
	00.38 WIT		1.3747 e+02 + 7.6060 e+01i	13.035 6 - 15.658 3i	- 1.3143 e+02 + 6.7441 e+01i	29.868 4 +23.19 49i
	00.41 WIT		7.3541 - 29.281 8i	- 72.485 5 - 59.554 6i	4.2591 +16.96 97i	77.290 2 - 3.5942i
	00.46 WIT		-6.7773 - 29.945 1i	-8.4955 + 8.8255i	24.177 3 +40.05 24i	-3.2830 + 6.0527i
	19.53 WIT		- 1.0967 e+02 - 1.6833 e+01i	- 54.425 3 +72.40 28i	69.670 7 - 38.937 8i	10.474 4 - 28.807 0i
	20.02 WIT		- 27.022 6 + 9.6239i	29.095 2 - 69.499 3i	7.3892 - 14.203 5i	10.902 6 +19.65 76i
	20.26 WIT		7.0245 - 5.9986i	0.9545 - 23.175 2i	0.8660 + 6.0525i	10.774 5 + 5.4038i
	20.35 WIT		40.843 7 +34.60 57i	-0.5973 +39.46 44i	- 25.297 6 + 2.1724i	- 12.270 8 - 24.991 1i

## LAMPIRAN E

### PROGRAM MATLAB

```
clear all;
close all;
clc;

data_Rx = xlsread('D:\TA\ZZPENGUKURAN DI
MUSAMUS\JUMAT 23-11-2018\20.35\IQ 9
DITERIMA.csv');

r1 = (reshape(data_Rx(1,:)',' +
1i*data_Rx(2,:)','1,[]));
r2 = (reshape(data_Rx(3,:)',' +
1i*data_Rx(4,:)','1,[]));

figure(1)
plot(linspace(-100000,100000,length(r1)),abs(fftshift(fft(r1))));
grid on
title('Baseband power spectrum sinyal ch
1');

figure(2)
plot(linspace(-100000,100000,length(r2)),
abs(fftshift(fft(r2))));
grid on
title('Baseband power spectrum sinyal ch
2');

%% Perkalian masing2 Rx dengan carrier
Fs=100000;
t=(1:16000)/Fs;
fc1 = cos(2*pi*25000*t/2);
fc2 = cos(2*pi*75000*t/2);
rfch_0 = r1(1:16000).*(fc1); %ch1 adalah
Rx1;
```

```

rfch_02 = r1(1:16000).*(fc2); %ch1 adalah
Rx2;
rfch_1 = r2(1:16000).*(fc1); %ch2 adalah
Rx1;
rfch_12 = r2(1:16000).*(fc2); %ch2 adalah
Rx2;

figure(3);
plot(linspace(-180,180,length(rfch_0)),
abs(fftshift(fft(rfch_0))));
grid on;
title ('Hasil kali spektrum ch 1 dengan fc
1');

figure(4);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_02)),
abs(fftshift(fft(rfch_02))));
grid on;
title ('Hasil kali spektrum ch 1 dengan fc
2');

figure(5);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_1)),
abs(fftshift(fft(rfch_1))));
title ('Hasil kali spektrum ch 2 dengan fc
1');
grid on

figure(6);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_12)),
abs(fftshift(fft(rfch_12))));
grid on
title ('Hasil kali spektrum ch 2 dengan fc
2');
M = 800;

for n= 1:M;

```

```

    if 0<=n<=M;
        w(n)=0.54-0.46.*cos(2.*pi.*(n)/M);
    else
        w(n)=0;
    end
end
y11 = conv(rfch_0,w); %konvolusi rfch_0
dengan w
y11pt = y11(800:16799);
y11m=fftshift(fft(y11pt));
h11 = mean(y11m([8000 8001]))

figure(7)
plot(linspace(-
100,100,length(rfch_0)),abs(y11m));
title('Respon Kanal h11')
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('Signal Magnitude')
grid on

y12 = conv(rfch_02,w);
y12pt = y12(400:16399);
y12m=fftshift(fft(y12pt));
h12 = mean(y12m([8000 8001]))

figure(8)
plot(linspace(-
100,100,length(rfch_02)),abs(y12m));
title('Respon Kanal h12')
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('Level Sinyal, X(f)')
grid on

y21 = conv(rfch_1,w);

y21pt = y21(400:16399);
y21m=fftshift(fft(y21pt));
h21 = mean(y21m([8000 8001]))

```

```

figure(9)
plot(linspace(-
100,100,length(rfch_1)),abs(y21m));
title('Respon Kanal h21')
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('Level Sinyal, X(f)')
grid on

y22 = conv(rfch_12,w);
y22pt = y22(400:16399);
y22m=fftshift(fft(y22pt));
h22 = mean(y22m([8000 8001]))

figure(10)
plot(linspace(-
100,100,length(rfch_12)),abs(y22m));
title('Respon Kanal h22')
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('Level Sinyal, X(f)')
grid on

```



## RIWAYAT PENULIS



Kurniawan Dwi Arianto, lahir di Jakarta pada tanggal 10 Januari 1996. Menempuh pendidikan formal dari SD Islam Annajah, lalu SMPN 177 Jakarta, dilanjutkan pada SMAN 70 Jakarta. Setelah lulus SMA melanjutkan kuliah S1 jurusan Teknik Elektro, pada bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia, di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Pada bulan Januari 2019 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Departemen Teknik Elektro FTE ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.